

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra pedologie a ochrany půd**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Nutriční vlastnosti salátu setého pěstovaného v akvaponii  
a hydroponii**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Barbora Koblížková**

**Obor studia: Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: RNDr. Václav Tejnecký, Ph.D.**

**Konzultant: Ing. Veronika Tůmová**

© 2022 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nutriční vlastnosti salátu setého pěstovaného v akvaponii a hydroponii" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu RNDr. Václavovi Tejneckému, Ph.D., který mi dával cenné rady a připomínky ke zpracování této diplomové práce a velmi ochotně mi pomohl s jejím výsledným zpracováním. Zároveň bych chtěla poděkovala projektu NAZV, v rámci kterého byla práce provedena. Dále bych ráda poděkovat Ing. Veronice Tůmové za odbornou konzultaci k literární části práce a za poskytnutí vzorků. Závěrem bych poděkovala svým rodičům za trpělivost, kterou se mnou během psaní této práce měli.



# Nutriční vlastnosti salátu setého pěstovaného v akvaponii a hydroponii

## Souhrn

Diplomová práce byla zaměřena na porovnání nutričních vlastností vzorků salátu setého (*Lactuca sativa* L.), který byl pěstován v rámci různých typů bezpůdního pěstování, a to konkrétně v akvaponii a hydroponii.

Porovnání bylo v rámci vzorků z ČZU, kde saláty byly pěstované v Marsonaut laboratoři a vzorků z Výzkumného ústavu v Berlíně (IGB Berlín) v různých typech bezpůdních systémech a za použití jiných živných roztoků. Vzorky salátu, v usušeném stavu, byly extrahovány vodou, a extrakt byl analyzován pomocí iontové chromatografie (Dionex ICS 4000, Thermo Scientific) Získané výsledky byly následně statisticky testovány pomocí analýzy roztylu.

Iontová analýza byla zaměřena především na anionty organických kyselin a anorganické anionty, které se ve vzorcích salátu vyskytují. Z organických látek byly zkoumány anionty kyseliny mléčná, kyseliny octové, kyseliny jablečné, kyseliny šťavelové, kyseliny vinné a kyseliny citronové. Dále pak z anorganických aniontů byly stanovovány chloridy, dusitany, dusičnany, sírany a fosforečnany.

Na základě analýzy a statistického šetření bylo zjištěno, že vzorky salátu z akvaponie nedosahují takového množství jednotlivých aniontů organických kyselin a anorganických aniontů, jako saláty, které byly pěstované v hydroponii. Rozdíly jsou patrné například ve stanovení aniontů kyseliny jablečné, které je více u akvaponie a u vzorků z ČZU byl v případě akvaponie i vyšší výskyt chloridů v porovnání s hydroponií. Naopak v hydroponii byl zaznamenán vyšší výskyt dusičnanů a fosforečnanů v porovnání se vzorky z akvaponie. Důvodem rozdílů je například nedostatečný příjem živin ze živného roztoku či odlišná metodika pěstování. Dále byl analyzován i kontrolní vzorek salátu pěstovaného v půdním systému a oproti akvaponii a hydroponii v něm byl více zastoupen například aniont kyseliny mléčné.

**Klíčová slova:** Prvkové složení, organické kyseliny, anorganické anionty

# Nutritional properties of lettuce cultivate in aquaponic and hydroponic systems

## Summary

The master thesis was focused on the comparison of nutritional properties of samples of lettuce (*Lactuca sativa* L.), which was grown in various types of soilless cultivation, specifically in aquaponics and hydroponics systems.

The comparison was within samples from the ČZU, where salads were grown in the Marsonaut laboratory and samples from the Research Institute in Berlin (IGB Berlin). Salad samples, in the dried state, were extracted with water, analytically processed and evaluated by ion chromatography (Dionex ICS 4000, Thermo Scientific) and then statistically compared.

The analysis focused mainly on organic acids anions and inorganic anions that occur in salad samples. Of the organic acids anions, lactate, acetate, malate, oxalate, tartrate and citrate were investigated. Furthermore, from inorganic anions were determined chlorides, nitrites, nitrates, sulfates and phosphates.

Based on the analysis and statistical survey, it was found that the samples of lettuce from aquaponics do not reach such concentrations of individual organic acids and inorganic anions as lettuces that were grown in hydroponics. The differences are evident, for example, in the determination of malate, which is significantly more in the case of aquaponia, and in the case of samples from the ČZU in the case of aquaponia there was also a higher incidence of chlorides in comparison with hydroponics. In contrast, hydroponics had a higher incidence of nitrates and phosphates compared to aquaponics samples. Furthermore, a control soil sample was analyzed and in it, in contrast to aquaponics and hydroponics, lactate was more represented.

**Keywords:** Elemental composition, organic acids, inorganic anions

# Obsah

|            |                                                   |           |
|------------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Úvod</b> .....                                 | <b>9</b>  |
| <b>2</b>   | <b>Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....        | <b>11</b> |
| <b>3</b>   | <b>Literární rešerše</b> .....                    | <b>12</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Historie a vývoj bezpůdních systémů</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Potenciál bezpůdních systémů</b> .....         | <b>12</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Bezpůdní systémy</b> .....                     | <b>14</b> |
| 3.3.1      | Otevřené bezpůdní systémy .....                   | 15        |
| 3.3.1.1    | Root dipping technique .....                      | 15        |
| 3.3.1.2    | Hanging bag technique .....                       | 16        |
| 3.3.1.3    | Trench technique.....                             | 16        |
| 3.3.2      | Uzavřené bezpůdní systémy .....                   | 16        |
| 3.3.2.1    | Hydroponický systém .....                         | 17        |
| 3.3.2.2    | Akvaponický systém.....                           | 22        |
| 3.3.2.3    | Aeroponický systém .....                          | 24        |
| <b>3.4</b> | <b>Výhody a nevýhody bezpůdních systémů</b> ..... | <b>25</b> |
| 3.4.1      | Výhody bezpůdních systémů .....                   | 25        |
| 3.4.2      | Nevýhody bezpůdních systémů .....                 | 26        |
| <b>3.5</b> | <b>Substráty</b> .....                            | <b>27</b> |
| 3.5.1      | Organické substráty .....                         | 28        |
| 3.5.2      | Anorganické substráty .....                       | 28        |
| 3.5.3      | Alternativní substráty.....                       | 28        |
| <b>3.6</b> | <b>Podmínky pěstování</b> .....                   | <b>29</b> |
| 3.6.1      | Fyzikální podmínky .....                          | 29        |
| 3.6.2      | Chemické podmínky .....                           | 30        |
| 3.6.3      | Biologické podmínky .....                         | 31        |
| <b>3.7</b> | <b>Pěstované plodiny</b> .....                    | <b>32</b> |
| 3.7.1      | Salát setý ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....      | 34        |
| 3.7.2      | Špenát.....                                       | 35        |
| 3.7.3      | Rajčata .....                                     | 35        |
| 3.7.4      | Brambory .....                                    | 36        |
| <b>3.8</b> | <b>Příjem živin</b> .....                         | <b>36</b> |
| <b>4</b>   | <b>Metodika</b> .....                             | <b>38</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Vzorky salátů z ČZU</b> .....                  | <b>38</b> |
| 4.1.1      | Výživa vzorků z hydroponie .....                  | 40        |
| 4.1.2      | Výživa vzorků z akvaponie.....                    | 41        |
| <b>4.2</b> | <b>Vzorky salátů z Berlína</b> .....              | <b>41</b> |

|            |                                        |           |
|------------|----------------------------------------|-----------|
| <b>4.3</b> | <b>Zpracování vzorků salátu</b> .....  | <b>42</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Příprava standardů</b> .....        | <b>44</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Příprava vzorků</b> .....           | <b>44</b> |
| <b>4.6</b> | <b>Iontová chromatografie</b> .....    | <b>46</b> |
| 4.6.1      | Složení mobilní fáze .....             | 47        |
| 4.6.2      | Gradientová křivka .....               | 47        |
| 4.6.3      | Zpracování dat .....                   | 48        |
| 4.6.4      | Vyhodnocení výsledků .....             | 48        |
| <b>5</b>   | <b>Výsledky</b> .....                  | <b>49</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Výsledky vzorků z ČZU</b> .....     | <b>49</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Výsledky vzorků z Berlína</b> ..... | <b>51</b> |
| <b>6</b>   | <b>Diskuze</b> .....                   | <b>55</b> |
| <b>7</b>   | <b>Závěr</b> .....                     | <b>59</b> |
| <b>8</b>   | <b>Literatura</b> .....                | <b>60</b> |
| <b>9</b>   | <b>Samostatné přílohy</b> .....        | <b>I</b>  |

# 1 Úvod

Předpokládá se, že světová populace dosáhne do roku 2050 9,7 miliardy. Zároveň se odhaduje, že 50 % orné půdy na celém světě bude pro zemědělství nevyužitelné (United Nations 2017; Gashgari et al. 2018). V důsledku toho bude potřeba zvýšit produkci potravin o 110 %, aby byla uspokojena vysoká poptávka. Kromě naléhavého problému potravinové bezpečnosti však také roste poptávka po rostlinných produktech s vysokou nutriční hodnotou a zvýšeným bioaktivním obsahem. To platí zejména pro rostlinné produkty, které díky vysokému obsahu vitaminů, polyfenolů a antioxidačních sloučenin hrají zásadní roli v lidské stravě a v povědomí spotřebitelů jsou spojeny s funkční kvalitou a bioaktivní hodnotou. Kvůli této rostoucí poptávce se v příštích letech očekává potravinová krize. Aby se krizi předešlo, je třeba zlepšit zemědělské metody, kdy poměrně velkým problémem je konvenční zemědělství, anorganická hnojiva a hlavně nízká kvalita půdy (např. chybějící organická složka) a tím lépe a efektivněji využívat zdroje potravin (Gashgari et al. 2018).

Hlavním důvodem této očekávané krize je změna klimatu, především způsobená suchem nebo záplavami, které se v dnešní době staly stále častějšími. Dalším důvodem je chudoba mnoha zemí, zejména v Africe, kde chudoba snižuje produkci potravin, protože zavlažování a hnojiva se stávají nedostupnými. Třetím důvodem je eroze a degradace půdy v důsledku tradičních způsobů hospodaření, které jsou závislé především na půdě a zbavují půdu o minerální látky (Gashgari et al. 2018).

Akvakultura je celosvětově nejrychleji rostoucím odvětvím zemědělství, které by mělo být udržitelné a musí také splňovat bioekonomické požadavky. V dnešní době je aktuálním trendem například snaha o přidávání hmyzu do krmiva ryb. Hydroponie je systémem, kdy půdní kultura rostlin se nachází v živném roztoku, která obsahuje ionty všech prvků nezbytných pro optimální růst rostlin. Tento typ pěstování se stává velmi důležitou technologií, která se snaží, alespoň z části, nahrazovat pěstování na polích, díky zvýšené efektivitě využívání živin, vody a prostoru (Gashgari et al. 2018; Yang & Kim 2020). Další formou udržitelné výroby potravin jsou recirkulační systémy akvakultury (RAS), které produkují vodní či mořské organismy, především ryby. Recirkulační systémy akvakultury jsou intenzivní formou produkce ryb, nebo jiných vodních organismů, která využívá více technologií k udržení nezbytných podmínek a biologickou filtraci k udržení nezbytných podmínek kvality vody. V takových systémech ryby vylučují organické živiny do recirkulační vody. Odpady produkované rybami jsou primárně N, P a C spolu s mikroživinami z krmiva, které ryby plně neabsorbují nebo vylučují.

Akvaponie kombinuje hydroponii a akvakulturu. Rostliny zlepšují kvalitu vody pomocí odnámání živin a voda se poté recirkuluje zpět do metabolismu ryb (Savvas et al. 2013).

Srovnání mezi akvaponií a hydroponií přitahuje v dnešní době značnou pozornost, zejména pokud jde o výnos rostlin. Pěstování bez půdy napomáhá ranému pěstování zdravých sazenic zeleniny ve školkách a snadnému hospodaření, produkci bez chorob, hmyzu a škůdců. Má řadu různých výhod jako například celoroční produkci i mimo sezónu, vyšší produktivitu a stejnou kvalitu, řízení hmyzích škůdců, chorob a plevelů je jednodušší, což pomáhá efektivněji a méně využívat zdroje. Bezpůdní systém pěstování má obrovský potenciál stát se populární v nastupující budoucí generaci zemědělství. Tyto pokrokové technologie a techniky zapojené do pěstování zeleniny bez půdy lze označit za vědu o plodinách nové generace, a proto mohou otevřít dveře k založení nové civilizace ve vesmíru (Roberto 2003; Khan et al. 2021).

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Existují statisticky významné rozdíly v nutriční kvalitě salátu setého pěstovaného v akvaponii a v hydroponii ovlivněné chybějícími živinami (např. N) akvaponické vody.

Cíle práce: Práce si klade za cíl porovnat nutriční a chemické vlastnosti salátu setého – lociky seté (*Lactuca sativa*) pěstovaného v akvaponii a hydroponii. Důraz bude kladen na analýzu organických kyselin a anorganických aniontů.

## **3 Literární rešerše**

### **3.1 Historie a vývoj bezpůdních systémů**

Termín hydroponie pochází ze dvou řeckých slov „hydro“, což znamená voda, a „ponos“, což znamená práce. Toto slovo bylo poprvé použito v roce 1929 Dr. Gerickem, kalifornským profesorem, který začal vyvíjet to, co dříve bylo laboratorní technikou, do komerčního způsobu pěstování rostlin (Jones 2014; Maya Waiba et al. 2020). Skládá se z kbelíku naplněného živným roztokem, pokrytého sítí a kusem látky, na který je položena tenká vrstva písku (1 cm) na podporu a zajištění rostlin. Kořeny jsou suspendovány v živném roztoku. Alternativně může být kbelík zakryt víkem a rostliny, obsažené v síťových květináčích, zavěšeny ze středu krytu. Hlavní nevýhodou systému jsou hypoxické podmínky vyskytující se na kořenové úrovni v důsledku omezené plochy výměny vzduch-voda ve srovnání s objemem roztoku a nízkého difúzního koeficientu kyslíku ve vodě. Toto omezení bylo překonáno pomocí vzduchových čerpadel okysličujících živný roztok nebo aplikací recirkulačních systémů hluboké vody (RDWC), které využívají zásobník k poskytování živného roztoku do několika věder. V RDWC, když je voda znovu zaváděna do nádrže, je rozrušována a provzdušňována pomocí rozprašovacích trysek (Jones 2014).

Americká armáda používala hydroponickou kulturu k pěstování čerstvých potravin pro vojáky umístěné na neúrodných tichomořských ostrovech během druhé světové války. V 50. letech existovaly životaschopné komerční farmy v Americe, Evropě, Africe a Asii. V roce 1990 došlo k rozmachu hydroponického pěstování, jako jsou vesmírné programy, pěstování rostlin v pouštích, polárních oblastech a vertikální zemědělství (Jones 2014; Khan et al. 2021).

### **3.2 Potenciál bezpůdních systémů**

Zemědělství je bezpochyby jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví na světě, ale je bohužel také jedním z nejvíce nepředvídatelných průmyslových odvětví, které podléhá rozmary přírody s výskytem sucha, požárů, povodní, krupobití atd. Ve skutečnosti je 90 % všech ztrát plodin způsobeno počasím, podle amerického ministerstva zemědělství (USDA) (Orsini et al. 2013). V důsledku rychlé urbanizace a industrializace a také tání ledovců (jako zjevný dopad globálního oteplování) bude obdělávaná orná půda v mírných oblastech, daleko od ledovců, dále ubývat. Stav úrodnosti půdy opět dosáhl úrovně nasycení a produktivita se se zvýšenou úrovní aplikace hnojiv dále nezvyšuje (Khan et al. 2021).



Světová politika čelí dvěma velkými výzvám, které budou k řešení, a to rostoucímu počtu lidí na Zemi a změně klimatu. Obě výzvy ovlivňují dostupnost potravin, která se projevuje jako potravinová bezpečnost a udržitelné využívání zdrojů na planetě (Gonnella & Renna 2021). To znamená podstatnou změnu v zemědělské činnosti směrem ke zvýšení efektivity agrotechnických vstupů a ekologičtějšímu zemědělství (Willer et al. 2020). Strategie by měla zahrnovat používání udržitelných postupů, jako je precizní zemědělství, ekologické zemědělství a agroekologie. To však vede ke dvěma protichůdným metodám činnosti zaměřeným na snížení dopadu zemědělství na zdraví planety (z hlediska zachování biodiverzity, volně žijících druhů, přírodního prostředí a nedotčených zdrojů) (Massa et al. 2020).

V zemědělské produkci je hlavním pěstebním systémem konvenční systém, integrovaný organickým a bezpůdním systémem, oba s nižším stupněm difúze. Ekologické zemědělství představuje 4,6 % celkové zemědělské plochy na světě se 71,5 miliony hektarů po celém světě (Willer et al. 2020). V Evropské unii je 7,7 % celkové zemědělské plochy spravováno ekologickým způsobem. Zemědělské plodiny pěstované v ekologickém zemědělství představují 1,6 % a 3,1 % celkové ekologické plochy ve světě a v EU (Willer et al. 2020; Gonnella & Renna 2021). Na druhou stranu bezpůdní pěstování pokrývá velmi malou plochu, celosvětově jen 95 000 ha, ale díky některým kulturním výhodám si získává stále větší zájem v zemědělské rostlinné produkci (Gullino et al. 2019).

Hydroponie je flexibilní technologie vhodná pro rozvojové země, jako je Indie, ale také špičkové vesmírné stanice. Hydroponie je řešením NASA, které poskytuje vesmírným cestovatelům soběstačný zdroj potravy. Administrativa NASA sponzorovala výzkumného program s názvem Controlled Ecological Life Support System (CELSS) za účelem dalšího rozvoje technologie a jejího přenesení do vesmíru v budoucnosti (Roberto 2003). NASA má seznam 15 rostlin pěstovaných pomocí hydroponie, které nám zachrání život. Rostliny nabízejí slibné řešení v poskytování potravy astronautům tisíce kilometrů od Země (Roberto 2003).

Mohli by se pěstovat plodiny, které by nejen doplnily zdravou stravu, ale také odstranily toxický oxid uhličitý ze vzduchu uvnitř jejich kosmické lodi a vytvořily život udržující kyslík. V uzavřených růstových komorách rostlin v Kennedyho vesmírném centru jsou ředkvičky, salát a zelená cibule pěstované „hydroponicky“ v roztoku obohaceném o živiny. Světlo, teplota a hladina oxidu uhličitého jsou pečlivě kontrolovány (NASA 2006; Khan et al. 2021).

Tímto způsobem tedy můžeme předvídat, že existuje možnost dlouhodobého osídlení vesmírných stanic i jiných planet, kde lze produkovat úrodu bez půdy. Bepůdní pěstování se jeví jako nejbezpečnější a nejúčinnější alternativa k dezinfekci půdy pomocí methylbromidu.

V chráněném pěstování proto nabývá na významu – nejen v moderních, plně vybavených sklenících, ale i v jednoduchých konstrukcích skleníků určených k optimalizaci příznivých klimatických podmínek (Roberto 2003; Gonnella & Renna 2021).

### 3.3 Bezpůdní systémy

V dnešní době je velice nutné začít hovořit už nejen o klasickém zemědělství využívající půdu, pole, zahrady, skleníky apod., ale také přemýšlet o systémech, kde půda není hlavním substrátem. O takzvaných soilless agriculture v překladu bezpůdní zemědělství. Tento systém pěstování je také používán pro redukci půdních škůdců a nemocí pocházejících právě z půdy, které ovlivňuje monokulturní pěstování (El-Kazzaz 2017).

Dle Savvas et al. (2013) bezpůdní kulturu lze definovat jako „jakýkoli způsob pěstování rostlin bez použití půdy jako kořenového média, ve kterém jsou anorganické živiny absorbované kořeny dodávány prostřednictvím zavlažovací vody“. Hnojiva obsahující živiny, které mají být plodině dodány, se rozpustí v příslušné koncentraci v závlahové vodě a výsledný roztok se nazývá živný roztok.

Hydroponie ve skutečnosti může kontrolovat škůdce a nemoci, které pocházejí z půdy vyhnutím se kontaktu mezi půdou a rostlinami. Také bezpůdní média pro pěstování se mohou sterilizovat a znovu dokola používat pro další plodiny. Toto opakované používání substrátů zapadá přesně do poptávky po intenzivní produkci. V dnešní době jsou některé substráty dokonce lepší než právě půda a to zejména, co se týče zadržovací schopnosti vody a přísunu kyslíku ke kořenům rostlin (Di Lorenzo et al. 2013; Savvas et al. 2013).

Bezpůdní zemědělství je jedním z aspektů velkého vědeckého, ekonomického a technologického rozvoje v oblasti zemědělství za posledních 200 let. Zpravidla v rozvinutých zemích světa s mírným klimatem roste poptávka po nesezónních plodinách. K této skutečnosti částečně přispívá zlepšení životního standardu (El-Kazzaz 2017; Gashgari et al. 2018).

Cílem bezpůdního systému zemědělství jsou vyšší výnosy sklizně z menší plochy a mimo jiné je také velmi důležité v důsledku efektivnosti, co se spotřeby vody a hnojiv týče, v porovnání s tradičním zemědělstvím (Di Lorenzo et al. 2013; Resh 2016).

Ukázalo se, že bezpůdní systémy jsou ekonomicky proveditelné na mnoha místech po celém světě, zejména i tam, kde je nedostatek vhodné půdy a vody. Úspěšné příklady jsou na Barbadosu, Indonésii, Saúdské Arábii a Spojených státech amerických, které demonstrují přizpůsobivost a efektivitu tohoto integrovaného zemědělského systému (FAO 2020).

Základní pojetí bezpůdních systémů je vcelku jednoduché. Kořeny rostlin absorbují živiny a kyslík, jsou-li drženy v tekoucí vodě, avšak pokud je obsah rozpuštěného kyslíku

ve vodě nedostatečný, pozná se to pomalým a nestandardním růstem rostliny. Opačně, je-li voda bohatá na rozpuštěný kyslík, růst rostliny se zrychlí. Stejně tak to platí i v případě ryb, proto je v akvaponii naprosto zásadní obsah kyslíku.

V důsledku toho hlavním úkolem pěstitele je najít správnou souhru potřebné vody, živin a kyslíku podle potřeb rostliny, aby došlo k maximalizaci výnosu a kvality (Resh 2016).

Pro dosažení nejlepších výsledků by pěstitel měl vzít v úvahu několik důležitých parametrů. Naprosto zásadní parametry jsou teplota, vlhkost, hladina CO<sub>2</sub>, intenzita světla, pH, genetika rostliny a v neposlední řadě minerální látky, jako je dusík, draslík, fosfor, vápník, hořčík, síra, železo, mangan, měď, zinek, molybden, bór a chlor (El-Kazzaz 2017; Yang & Kim 2020).

Dle Di Lorenzo et al. (2013) mohou být bezpůdní systémy pěstování rozděleny na vodní systémy bez substrátu, které nemají další médium pro podporu kořenů rostlin a na systémy s pevným médiem pro pěstování (substráty), které poskytují rostlinám podporu. Dále se tyto systémy mohou dělit na otevřené, kde roztok s živinami není po použití recyklován a na uzavřené, kde je naopak zbytek živin dál upraven a použit znovu.

### **3.3.1 Otevřené bezpůdní systémy**

V otevřených systémech jsou voda a živiny dodávány stejně jako pro konvenční plodiny pěstované na půdě kapkovou závlahou a následně je živný roztok vypouštěn ze systému. Výluh lze shromažďovat a znovu použít k hnojení plodin v půdě, ale ve většině případů se ztrácí a poškozuje životní prostředí.

Hlavní nevýhodou otevřených systémů je, že část vody a živin musí být vypuštěna. To snižuje efektivitu využití vody a kontaminuje zásoby podzemní vody rozpuštěnými solemi (Putra & Yuliando 2015).

Otevřené systémy se mohou dále dělit na:

#### **3.3.1.1 Root dipping technique**

Při této technice se zelenina pěstuje v květináčích s malými otvory na dně a naplní se substrátovým médiem/půdním médiem bez obsahu kokosové rašeliny a umístí se do nádoby s požadovaným živným roztokem. Kořeny rostlin jsou částečně hluboko v živném médiu a některé kořeny jen visí ve vzduchu. Jedná se o jednoduchý, snadný a nákladově efektivní systém pro pěstování malé listové zeleniny, jako je koriandr a řapíkatý celer (Hayden et al. 2004; Maya Waiba et al. 2020).

### 3.3.1.2 Hanging bag technique

Pro tento typ pěstování se používají dlouhé polyethylenové sáčky ve tvaru válce, které jsou na spodním konci uzavřeny a v horní části připojeny k PVC trubkám. Nad nádrží s doplňkem živin jsou svisle zavěšeny vaky, do kterých se vysejí semena rostlin. Výsadbové materiály, jako jsou například semena a sazenice zaseté do síťovaných květináčů a jemně lisované do otvorů, aby se vytvořila kompaktnost. K cirkulaci živného roztoku se používá mikrorozstřikovač. Na dně vaku pro sběr přebytečného živného roztoku je umístěna nádrž na roztok. Pomocí této techniky se pěstuje především hlávkový salát, koriandr, řapíkatý celer (Maya Waiba et al. 2020).

### 3.3.1.3 Trench technique

Principem této techniky je pěstování zeleniny na příkopech postavených z betonových bloků nad zemí. Aby se zabránilo přímému kontaktu růstového média se zemí, vnitřní výstelky příkopů jsou pokryty silnými polyetylenovými fóliemi. Velikost a tvar příkopů je konstruována podle charakteru plodiny. Všechny potřebné živiny s vodou jsou cirkulovány přes odkapávací systém za pomoci vodní pumpy. Tohoto typu pěstování je využíváno pro zeleninu jako je salát, koriandr a špenát (Maya Waiba et al. 2020).

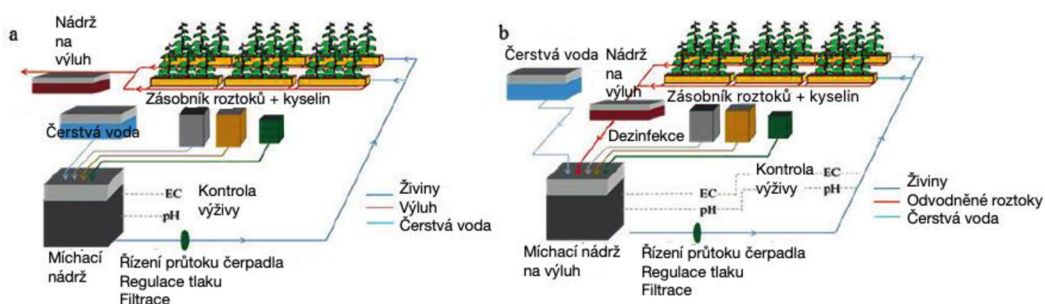
## 3.3.2 Uzavřené bezpůdní systémy

V uzavřených systémech se vypuštěný živný roztok regeneruje, doplňuje a recykluje. Ve srovnání se systémem otevřeným vyžaduje přesnější a častější kontrolu živného roztoku. Například je potřeba technické know-how, protože je citlivější na provozní chyby, zejména na jaře kvůli možnému zvýšení koncentrace živin v roztoku s rostoucí teplotou a slunečním zářením. Vracený živný roztok musí být ošetřen tak, aby se obnovilo jeho původní složení živných prvků a aby se odstranily veškeré cizí látky. Kromě toho může dojít k šíření chorob přenášených kořeny, proto je nutné provést sterilizaci roztoku, aby se zničily patogeny (Savvas et al. 2013).

Pěstování skleníkových plodin v uzavřených systémech může podstatně snížit znečištění vodních zdrojů dusičnany a fosfáty pocházejícími z fertigačních odpadních vod a přispět ke značnému snížení spotřeby vody a hnojiv (Savvas et al. 2013). Rozdíly v otevřených a uzavřených systémech jsou znázorněny na obzázku 1. Nezdá se, že by přechod na uzavřené systémy pěstování omezoval výnos plodin nebo kvalitu produktů. Faktorem omezujícím široké rozšíření systémů kultivace s uzavřeným cyklem u plodin pěstovaných na substrátu je však

akumulace iontů soli v recyklovaném živném roztoku. Tento jev pochází ze vstupu iontů soli a vody ve vyšších poměrech (koncentrace v závlahové vodě) jsou odpovídající poměry příjmu iontů k vodě (Maya Waiba et al. 2020).

Kromě toho je opětovné použití odpadních vod živných roztoků v uzavřených bezpůdných kultivačních systémech spojeno s rizikem šíření nemocí prostřednictvím recyklovaného výluhu, což vyžaduje instalaci systému dezinfekce roztokem (Savvas et al. 2013).



Obrázek 1: Porovnání mezi systémem otevřeným (obrázek a) a systémem uzavřeným (obrázek b) (Savvas et al. 2013).

### 3.3.2.1 Hydroponický systém

V hydroponii se rostliny pěstují bez půdy tak, že se jim poskytují roztoky bohaté na živiny ve vodním rozpouštědle, které rostliny v tradičním zemědělství běžně získávají z půdy (Khan et al. 2021). Hlavním cílem hydroponie je vytvořit rostlinám ideální nutriční prostředí pro optimální růst (Savvas et al. 2013). V konvenčním zemědělství je půda pouze nádobou živin, kde tradičně žijí kořeny rostlin a základna podpory rostlinné struktury (Somerville et al. 2014).

Rostliny nepotřebují půdu, ale potřebují vitamíny a minerální látky, které jim půda může poskytnout. Dále rostliny potřebují světlo, vodu, oxid uhličitý a kyslík v kořenové zóně (Yang & Kim 2020). V hydroponii se rostliny pěstují v inertním médiu, jako jsou kermazit, rockwool nebo vlákno z kokosových vláken, a jsou krmeny roztokem obsahující dokonalou směs mikroživin (Maya Waiba et al. 2020). Hydroponicky lze pěstovat téměř jakýkoli druh rostlin včetně zeleniny, bylinek, ovoce a květin (El-Kazzaz 2017). Hydroponie je celosvětově široce využívána farmáři a pěstiteli. Rostliny lze pěstovat po celý rok, protože klimatické podmínky lze lépe řídit nebo kontrolovat ve skleníku (Khan et al. 2021). Účinnost systému založeného na hydroponii však do značné míry závisí na jeho konstrukci a způsobu hospodaření s vodou a živnými roztoky. Hydroponické systémy jsou ideální pro recyklaci vody a živin, protože

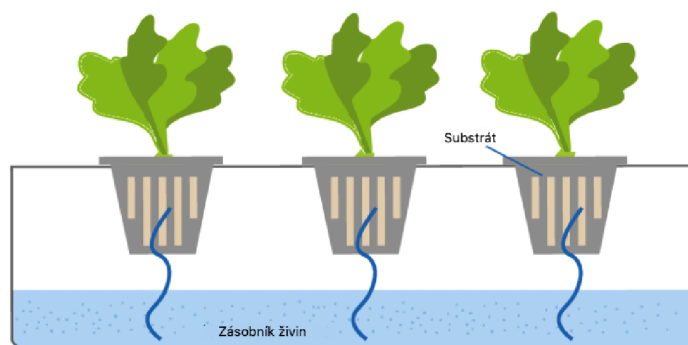
vypuštěný roztok lze snadno zachytit pro opětovné použití (Savvas et al. 2013). Skleníkové plodiny pěstované v uzavřených hydroponických systémech mohou podstatně snížit znečištění vodních zdrojů a zároveň přispět ke snížení spotřeby vody a hnojiv (Carmassi et al. 2005). Jedním z hlavních důvodů, proč používat hydroponii je minimální spotřeba vody. Pro hydroponii je to pouze 10 % vody, zatímco půdní kultivace využívá vody více než 80 %, takže se stává každým dnem populárnější, jelikož výrazně šetří vodou (Maya Waiba et al. 2020; Khan et al. 2021).

Tento typ pěstování nabízí jak domácím zahrádkářům, tak komerčním velkofarmám pěstovat plodiny na místech, kde to v tradičním půdním systému není možné nebo není finančně efektivní. Rostliny v hydroponickém systému mohou dosahovat o 20–25 % vyšších výnosů než půdní systém s produktivitou 2–5krát vyšší. Protože jejich kořeny nepotřebují sahat za živinami, lze rostliny pěstovat i blíže k sobě a tím ušetřit pěstovanou plochu a lépe ji využít. Pěstované rostliny jsou výrazně větší, protože mají více dostupných živin a nemusí více energie vkládat do rozvoje kořenových systémů. Tím jsou výnosy větší (Gashgari et al. 2018).

Hydroponii můžeme dělit dle typů na:

#### 3.3.2.1.1 Knotový systém (Wick system)

Jedná se o nejjednodušší pasivní systém ze všech typů hydroponických systémů, nemá žádnou pohyblivou část, nepoužívá žádná vodní oběhová čerpadla ani elektřinu. Tudiž může být užíván i v místech, kde není k dispozici elektrický proud. Knot je spojovací část mezi rostlinou v květináči a roztokem s výživou, díky tomu napomáhá cirkulovat živný roztok do kořene rostliny. Zásobování rostlin přes knot není ale tak efektivní jako u jiných hydroponických systémů. Knot se může například ucpat minerálními usazeninami. Nevýhodou tohoto systému je především to, že ke kořenům není dodáván žádný kyslík navíc. Systém je technicky jednoduchý, růst rostlin je ve srovnání s jinými aktivními hydroponickými systémy pomalejší (Savvas et al. 2013; Maya Waiba et al. 2020). Princip je znázorněn na obrázku číslo 2.

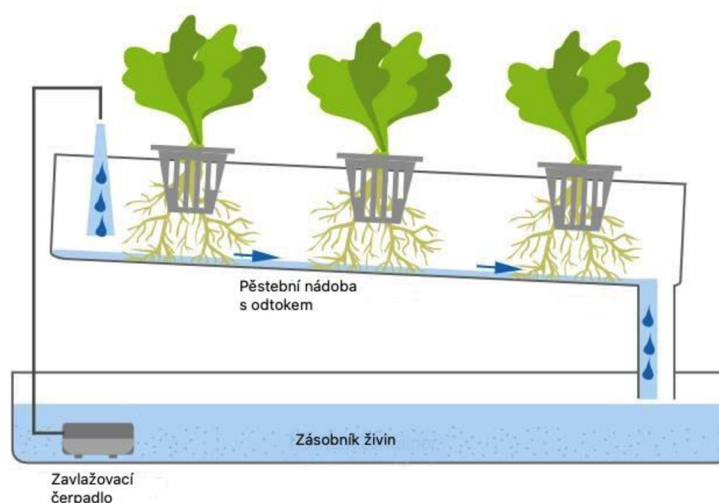


Obrázek 2: Knotový systém (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).

### 3.3.2.1.2 Technika živného filmu (Nutrient film technique)

Tato metoda, ve zkratce NTF, zajišťuje výživu rostlin přes kořinky pomocí mělké pěstební nádoby a pomalu cirkulující zálivky (Savvas et al. 2013). Rostliny jsou umístěny v pěstebních kostkách, skrz které prorůstá směrem do pěstební nádoby kořenový systém. Ve většině případů se nepoužívá ani žádný substrát, takže kořeny mají neomezený přístup k živinám a kyslíku a tím pádem mohou rychle růst (Maya Waiba et al. 2020).

Pomalá cirkulace živného roztoku umožňuje ideální vstřebávání přes kořeny, jelikož rostlina si vezme jen ty látky, které opravdu potřebuje. Jednu zálivku tak můžete využít pro několik pěstebních dní, než bude žíznivými kořinky zcela vyčerpána, jelikož proudí kontinuálně a je recyklována. Cirkulaci roztoku zajišťuje malé čerpadlo s nízkou spotřebou. To ale závisí na velikosti farmy, ekonomicky se vyplatí minimálně 0,5 HA (Savvas et al. 2013; El-Kazzaz 2017). Princip je znázorněn na obrázku číslo 3.

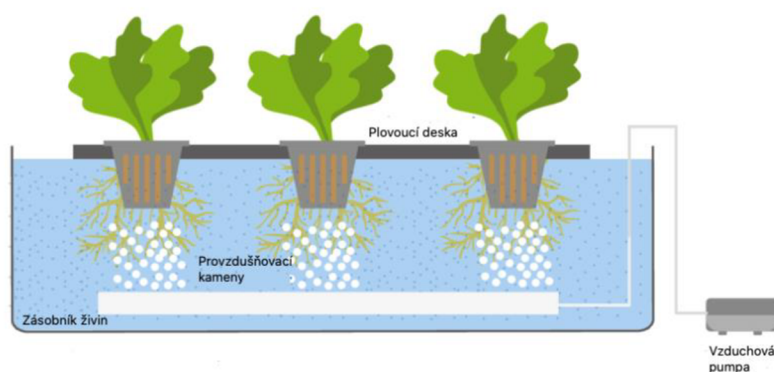


Obrázek 3: Technika živného filmu (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).



### 3.3.2.1.3 Deep water culture (DWC)

V této technice hydroponického systému rostliny plují na lázni živného roztoku, ve kterém je kyslík dodáván do kořenové zóny plodiny vzduchovým čerpadlem, které je nepřetržitě v provozu. V DWC technice jsou rostliny vsazeny do síťovaných květináčů a kořinky rostlin jsou ponořené přímo do roztoku. Pro stabilizaci rostliny může být síťovaný květináč naplněn substrátem - hliněné kuličky. Roztok je velmi dobře okysličený. To se děje pomocí vzduchové pumpy a provzdušňovacích kamenů, které přivádějí do vody velmi jemné vzduchové bublinky. Hladina roztoku je tedy vyšší, než například u jiných technologií jako je například NFT systém, kde pouze protéká tenký film vody a rostliny mají přístup ke vzdušnému kyslíku (Savvas et al. 2013; El-Kazzaz 2017). Lze tento systém snadno osadit do skleněných van, mrazicích boxů, plastových boxů, rybníčků, betonových nádrží (Maya Waiba et al. 2020). Princip je znázorněn na obrázku číslo 4.

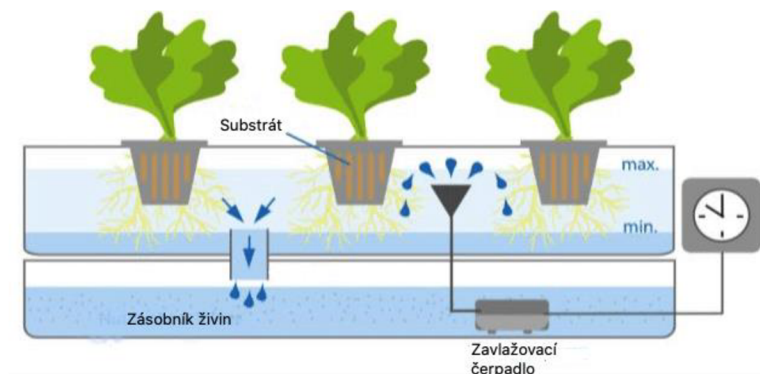


Obrázek 4: Systém DWC (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).

### 3.3.2.1.4 Ebb and Flow systém

Jedná se o první komerční hydroponický systém, který funguje na principu zaplavení a odvodnění (Savvas et al. 2013). Rostliny sedící v síťových květináčích naplněných substrátem přijímají potřebné množství živného roztoku. Živný roztok a voda z rezervoáru se zaplaví vodou pomocí vodního čerpadla do pěstebního záhonu, dokud nedosáhne určité úrovně a zůstane tam po potřebnou dobu, aby poskytla rostlinám živiny a vlhkost. Tímto způsobem je možné pěstovat různé druhy plodin. Problémem je zde ale především hniloba kořenů a častý výskyt řas a plísní, proto je zapotřebí upravený systém s filtrační jednotkou. Pomocí časovače lze rytmus odlivu a přílivu co nejlépe přizpůsobit požadavkům pěstovaných rostlin. Systém je jednoduchý a tím pádem nevyžaduje velkou péči a speciální odbornost (El-Kazzaz 2017; Sharma et al. 2018). Princip je znázorněn na obrázku číslo 5.

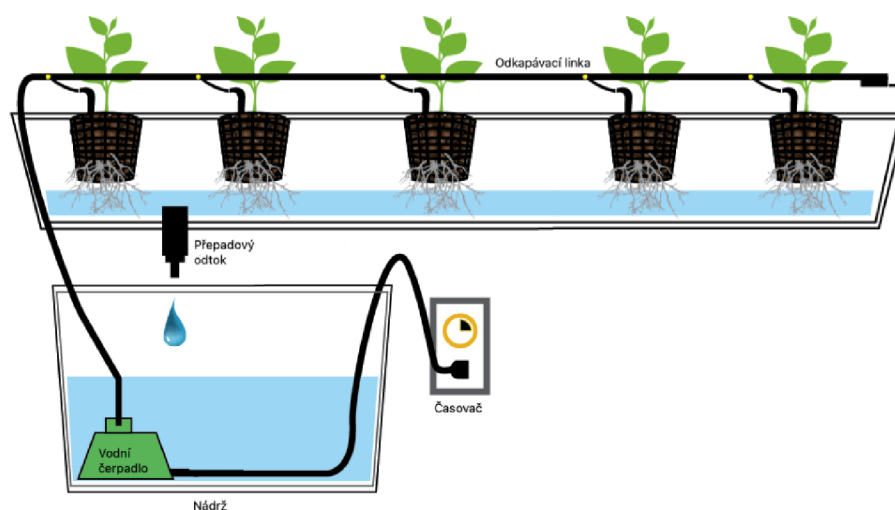




Obrázek 5: Ebb and Flow system (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).

### 3.3.2.1.5 Odkapávací systém (Drip system)

Drip system je široce používanou metodou mezi domácími i komerčními pěstiteli. Voda nebo živný roztok z rezervoáru je přiváděna k jednotlivým kořenům rostlin ve vhodném poměru pomocí čerpadla. Přes odkapávací potrubí se živný roztok nakape na substrát kolem rostlin. Živný roztok obtéká kořeny, takže ty jsou přímo zásobovány. Přebytečná tekutina odtéká pryč a nasává kyslík do oblasti kořenů, což je důležité pro růst rostlin (Sharma et al. 2018). Rostliny se obvykle umísťují do středně savého pěstebního média tak, aby živný roztok pomalu odkapával. Drenážní systém zabraňuje přebytečnému zamokření, což je dobré pro vývoj kořenů. Díky přizpůsobivé frekvenci zavlažování je dosaženo dobrého příjmu tekutin, což vede k vysokým výnosům (El-Kazzaz 2017). Princip je znázorněn na obrázku číslo 6.

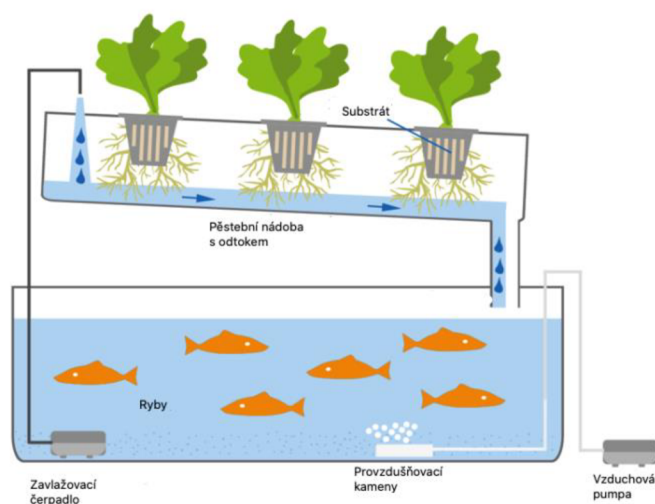


Obrázek 6: Odkapávací systém (Sharma et al. 2018).

### 3.3.2.2 Akvaponický systém

Akvaponie spojuje hydroponickou produkci rostlin a akvakulturní produkci ryb do udržitelného zemědělského systému, který využívá přirozené biologické cykly k dodávání dusíku a minimalizuje používání neobnovitelných zdrojů, čímž poskytuje ekonomické výhody, které se mohou časem zvyšovat (Tyson et al. 2011).

Akvaponie je systémem akvakultury (Obrázek 7), ve kterém se vyskytují vodní živočichové. Pro pěstování v akvaponii je nejvíce využíváno několika druhů vodních živočichů a to především teplvodních a studenvodních druhů ryb. Jedná se například o tilapii, pstruha, okouna, raky, krevety či sivena arktického. Většina komerčních akvaponických systémů ve světě však využívá tilapii, která je ale ekonomicky velice náročným druhem ryb a v dnešní době se spíše začíná zaměřovat za suměčky africké (Diver 2006). Vodní organismy lze chovat v monokultuře i v polykultuře (polykultura: použití více druhů ryb v akvaponii) (Knaus & Palm 2017). Pěstování probíhá v nádržích s kombinací hydroponie, ve které jsou rostliny pěstovány ve vodě v symbiotickém prostředí (El-Kazzaz 2017; Espinosa-Moya et al. 2018). Uspořádání základních podmínek pro akvaponický systém je jednoduché a zahrnuje pouze tři druhy živých organismů: ryby, rostliny a v neposlední řadě je tam mnoho patogenních bakterií, různé vodní drobní živočichové, plovatky, plísně a mušky interagující s vodní hladinou. Jejich vzájemné vztahy jsou však velmi složité a vyžadují zmíněnou symbiózu (Konig et al. 2016).



Obrázek 7: Akvaponický systém (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).

V akvaponii se exkrementy vodních živočichů ve vodě hromadí, což zvyšuje obsah amoniaku, jakožto toxickýho vedlejšího produktu metabolismu vodních živočichů, proto musí být akvakulturní voda biologicky čištěna (Maya Waiba et al. 2020).

V akvaponickém systému přechází voda z akvakulturního systému do hydroponického systému, kde jsou toxické vedlejší produkty rozkládány nitrifikačními bakteriemi, které žijí na povrchu kultivačního média. A to nejprve na dusitany a následně na dusičnany, které jsou využívány rostlinami jako živiny a voda se poté pročistí a vrací se zpět do systému akvakultury. Použitá voda však musí projít biofiltrem, kde mohou růst nitrifikační bakterie a přeměňovat čpavek na dusičnany, které jsou rostlinami využitelné. Avšak i po vyčištění není voda zcela čistá (El-Kazzaz 2017).

Jelikož bezpůdní systémy jsou v dnešní době velmi aktuálním tématem, posun v informacích je značný. Dříve bylo prezentováno, že výhodami propojení rostlinné výroby a chovu ryb jsou sdílené náklady na spuštění, provoz a infrastrukturu, recirkulace odpadních živin z nádrží a odstraňování vody rostlinami, čímž se snižuje spotřeba vody a vypouštění odpadu do životního prostředí a zvýšený ziskový potenciál současnou produkcí dvou tržních plodin (Gold 1999; Diver & Rinehart 2010; Tyson et al. 2011; Maya Waiba et al. 2020). Avšak v dnešní době je zřejmé, že je tomu přesně naopak. Jedná se totiž o to dvojitě náklady, které pěstitel musí investovat na dvě různé technologie vyžadující rozdílná prostředí, odborný personál pro více odvětví, odlišné zpracovatelské závody i skladovací prostory samostatné pro ryby a pro vypěstované plodiny (Greenfeld et al. 2022). Nejběžnější akvaponické systémy, které se v současnosti používají, využívají buď vyvýšené lůžko naplněné médiem, NTF nebo systém plovoucích člunů pro oblast pěstování rostlin integrovaný s recirkulačním systémem akvakulturních nádrží. Recirkulační akvaponické systémy, které produkují jak ryby, tak rostliny, mohou akumulovat rozpuštěné živiny z denního krmiva ryb (Tyson et al. 2011). Zvláště zajímavý je cyklus akvaponického dusíku (N). Ryby produkují amoniak ( $\text{NH}_3$ ), z nichž část disociuje ve vodě za vzniku amonných kationtů ( $\text{NH}_4^+$ ). Nitrifikační bakterie v biofiltrech přeměňují  $\text{NH}_3$  na dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ) a poté na dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ). Rostliny mohou absorbovat  $\text{NO}_3^-$ , protože dusík je živina, kterou rostliny vyžadují v největším množství a  $\text{NO}_3^-$  je často preferovaným zdrojem řízení těchto systémů k podpoře prospěšných nitrifikačních bakterií, má potenciál zlepšit udržitelnost systému (Marschner 2011).

Komerční pěstitele na využívající akvaponii zprvu nahlíželi jako na způsob zavádění ekologických hydroponických produktů na trh a to především díky tomu, že jedinými vstupními živinami do rostliny je rybí krmivo a výkaly, které prochází z biologického procesu. Avšak v současné době je známé, že bez anorganických hnojiv to není téměř možné. Obsahy živin

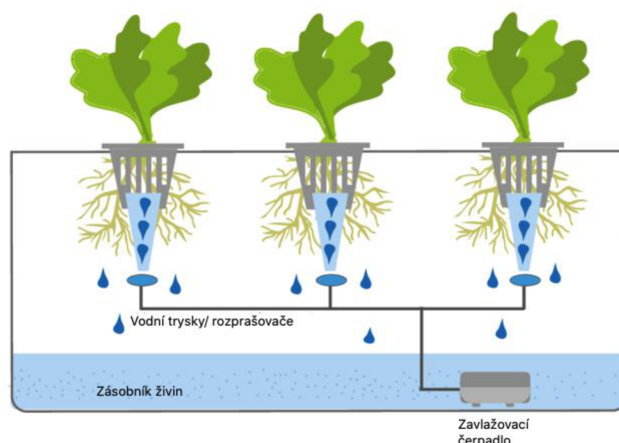
z akvaponie jsou pro rostliny limitující. Dá se tím pádem říci, že nic z akvaponie ani hydroponie nemůže být ekologické nebo BIO – není tam přítomna půda a využívá se RAS (Maya Waiba et al. 2020). Jelikož tyto typy pěstování vyžadují enormní spotřebu energie, spotřebovaných plastů, nerecyklovatelných substrátů, krmiv pro ryby v akvakultuře a v neposlední řadě množství anorganických hnojiv (Greenfeld et al. 2022).

Pro pěstitele je akvaponie stále velmi atraktivní a to především v oblasti marketingu, jelikož vytváří dva produkty pocházející z jedné výrobní jednotky a to je pro spotřebitele v dnešní době líbivé téma. Tento systém bezpůdního pěstování navíc může kromě produkce čerstvé zeleniny poskytnout i přísun rybích bílkovin v oblastech, kde je omezené množství půdy a vody (Diver 2006).

### 3.3.2.3 Aeroponický systém

Tento systém je typem uzavřeného systému pěstování zeleniny bez půdy nebo substrátové kultury. Aeroponický systém je znázorněn na Obrázku číslo 8 níže. Jednoduše, rostliny rostou ve vzduchu s pomocí umělé podpory, kde není potřeba žádná půda či substrát. Pro zásobník živného roztoku se používají utěsněné kořenové komory, které jsou pokryty polystyrenem nebo jiným materiálem (Lakhari et al. 2018; Maya Waiba et al. 2020).

V zásadě se jedná o systém kultivace pomocí vzduchu a živného roztoku, kde kořeny rostlin jsou zavěšeny uvnitř utěsněné nádoby ve tmě a otevřeně vystaveny na vzduchu, aby se skrz atomizéry dostaly vodní postřiky bohaté na živiny (El-Kazzaz 2017). Horní část listů rostliny a koruna přesahují nad vlhkou zónu. Kořeny jsou od nadzemní části rostliny odděleny uměle vytvořenou strukturou. Systém využívá postřiky obohacené živinami, které se dávkuje ve vzduchu pomocí tlakových trysek nebo mlhovačů k udržení růstu rostlin za kontrolovaných podmínek (Lakhari et al. 2018).



Obrázek 8: Aeroponický systém (<https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> accessed January 2022).

Koncepce a myšlenka pěstování rostlin ve vzduchu pomocí umělé podpory a prostředí však není příliš stará. Vědci dostali nápad vidět co nejvíce z rostoucích rostlin na skalách poblíž vodopádů. Často pozorovali, že rostliny byly úspěšně pěstovány na skalách poblíž vodopádů a to i když jsou kořeny rostlin otevřeně zavěšeny ve vzduchu. Bylo to logické rozšíření pro pěstování rostlin na vzduchu za podmínek postřikové mlhy. Bylo zjištěno, že na počátku 21. let 20. století Barker (1922) poprvé vyvinul primitivní systém pěstování rostlin na vzduchu a používal jej pro laboratorní práce ke zkoumání struktury kořenů rostlin. Uvedl, že technika pěstování rostlin na vzduchu je přirozenou a jednoduchou praxí pěstování rostlin bez zapravování do půdy. Absence půdy usnadnila studium - kořeny rostlin visely ve vzduchu, zatímco stonky zůstaly na umělém místě. Rostlina však v systému roste rychle díky sterilnímu prostředí a bohaté dostupnosti kyslíku v růstové komoře. Několik výzkumných studií praktičovalo moderní technologii pěstování rostlin pro pěstování okrasných zahradnických zahrad, kořenů bylin a produkci léčivých rostlin na bázi kořenů (Kamies et al. 2010).

### **3.4 Výhody a nevýhody bezpůdních systémů**

#### **3.4.1 Výhody bezpůdních systémů**

Hydroponické systémy nabízejí řadu výhod podle Savvas et al. (2013):

- Nepřítomnost půdních patogenů.
- Bezpečná alternativa k dezinfekci půdy.
- Možnost pěstovat skleníkové plodiny a dosahovat vysokých výnosů a dobré kvality, a to i v zasolených nebo sodných půdách nebo v neorných půdách se špatnou strukturou (které tvoří velkou část světové obdělávané půdy).
- Přesná kontrola výživy, zejména u plodin pěstovaných na inertních substrátech nebo v čistém živném roztoku (také u plodin bez půdy pěstovaných v chemicky aktivních pěstebních médiích lze výživu rostlin lépe kontrolovat než u plodin pěstovaných v půdě, a to kvůli omezenému objemu média na rostlina a homogenní mediální konstituce).
- Vyhýbání se zpracování půdy a přípravě půdy, čímž se zvyšuje délka plodiny a celkový výnos ve sklenících.
- Zvýšení raného výnosu u plodin vysázených během chladného období kvůli vyšším teplotám v kořenové zóně během dne.

- Respektování environmentální politiky (např. omezení aplikace hnojiv a omezení nebo eliminace vyplavování živin ze skleníků do životního prostředí) – proto je v mnoha zemích aplikace uzavřených hydroponických systémů ve sklenících zákonem povinná, zejména v oblastech chráněných životním prostředím, nebo ti s omezenými vodními zdroji (Savvas et al. 2013; Maya Waiba et al. 2020).
- Tam, kde se používají bezpůdní systémy s vysokým stupněm inovace, se spotřebovává méně vody než kultivace půdy, jednak kvůli zamezení ztrát vody infiltrací přes kořenovou zónu, ke kterým dochází při kultivaci půdy, ale i kvůli menšímu objemu substrátu v bezpůdních systémech (Raviv et al. 2008; Roupael et al. 2015).
- Používání správně vyčištěných odpadních vod, jak z odpadních vod bez půdy, tak z komunálních odpadních vod, může přispět k úspoře sladké vody (Richa et al. 2020; Gonnella & Renna 2021).
- Rychlejší a zdravější růst, protože má dostatek kyslíku v kořenové oblasti. Zvýšená rychlost sklizně je o 45–70 % rychlejší než konvenční zemědělské techniky.
- Studie ukázaly, že rostliny pěstované v bezpůdních systémech mají zvýšený obsah flavonoidů (Gopinath et al. 2017).

### 3.4.2 Nevýhody bezpůdních systémů

Navzdory značným výhodám komerční bezpůdní kultury pěstování existují i nevýhody omezující její expanzi v některých případech:

- Vysoké náklady na instalaci a údržbu.
- Obavy o bezpečnost potravin, například obsah mikroplastů, mikrobiální bezpečnost (*Salmonella*), těžké kovy.
- Požadavky na technické dovednosti, běžní zemědělci budou mít potíže se správou všech částí těchto sofistikovaných nástrojů bezpůdního pěstování (Maya Waiba et al. 2020).
- Mnoho spotřebitelů se domnívá, že bezpůdně pěstované rostliny nejsou tak výživné jako jiné pěstované rostliny v půdě – nutná edukace veřejnosti (Gopinath et al. 2017).
- V oblasti Středomoří je hlavní překážkou recirkulujícího živného roztoku přítomnost iontů ( $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ ) v závlahové vodě ve vysokých koncentracích, čímž se zvyšuje elektrická vodivost recirkulujícího živného roztoku. Strategie k překonání tohoto problému spočívají ve sběru dešťové vody ze skleníků nebo aplikaci některých technologií ke zlepšení kvality dostupné vody (Massa et al. 2020). Jiná řešení mohou pocházet z použití různých materiálů. Například použití zeolitu, expandovaného jílu

nebo biouhlu jako substrátů přispívá k odstranění  $\text{Na}^+$  díky jejich kationtoměničové kationtové výměnné kapacitě, čímž se zvyšuje dostupnost  $\text{Ca}_2^+$  a  $\text{Mg}_2^+$  při substituci sodíku (Hossain et al. 2020; Gonnella & Renna 2021).

V zemích, kde pěstování ve sklenících dosáhlo průmyslových rozměrů, jsou tyto nevýhody méně důležité. Průměrná velikost skleníku na podnik je poměrně velká a investiční náklady na jednotku skleníkové plochy vysoké, aby se maximalizoval výnos a optimalizovala kvalita produktů úplnou kontrolou všech pěstebních podmínek. Proto zahrnutí vybavení pro hydroponii (malý alikvot z celkové investice) představuje nezbytný doplněk k vyloučení posledního nepředstavitelného faktoru, který by mohl omezit výnos a kvalitu půdy (Gonnella & Renna 2021).

Ekonomické studie vycházejí s velmi dlouhou dobou návratnosti investice, je tam také nutnost obnovy vybavení. Někteří výrobci, například u NFT systému, uvádějí výměnu po 10 letech provozu. Avšak velké skleníkové podniky si mohou tyto a další náklady na specializovaný personál nebo externí poradenské služby dovolit, a proto požadavek na dostatečné technické dovednosti nepředstavuje problém. Naproti tomu, když je skleník jednoduchou stavbou založenou především na dobrých přírodních podmínkách (mírná zima a zvýšené sluneční záření), nemusí být ani malé navýšení instalačních a provozních nákladů (jak je potřeba pro zavedení hydroponie) příznivé. Investice může být přijatelná pouze tehdy, když se problémy, pocházející z půdy, stanou kritickými, vodní zdroje jsou omezené anebo znečištění životního prostředí vyplavováním živin je vážné (Savvas et al. 2013).

### **3.5 Substráty**

Substráty, neboli kultivační média, jsou definovány jako všechny materiály, které jsou používané samostatně nebo vhodně smíchané, mohou poskytnout kořenovému systému lepší podmínky (z hlediska jednoho nebo více aspektů růstu rostlin), než jaké nabízí zemědělská půda (Di Lorenzo et al. 2013; Savvas & Gruda 2018).

V plodinách bez půdy substrát nahrazuje půdu, protože přirozená půda je v některých případech méně vhodná pro pěstování. Například v důsledku reakcí chemických (dostupnost živin), fyzikálních (hustota, struktura, zadržování vody) nebo biologických (přítomnost patogenů, vyčerpání) omezení, nebo proto, že tímto způsobem lépe řídí růst rostlin. Dobré kultivační médium by mělo být schopno poskytnout rostlině dostupnost vody (mít dobrou schopnost retence vody), ale zároveň zajistit dostatečné provzdušnění kořenů (Di Lorenzo et al.

2013). Hledání různých složek alternativních pěstebních médií je dalším krokem ke zvýšené udržitelnosti bezpůdních systémů (Gonnella & Renna 2021).

Kultivační média se používají jak pro produkci vysoce hodnotné zeleniny a okrasných rostlin, tak i pro množení rostlin. Substráty pro bezpůdní systémy jsou složeny z kombinací různých materiálů. Ty mohou být organické nebo anorganické povahy (Gruda et al. 2013).

Pro komerční bezpůdní produkci zeleniny a řezaných květin se však používají samostatné substráty, jako je minerální vlna, perlit nebo kokosové vlákno, které lze také rozdělit na organické a anorganické materiály (Savvas & Gruda 2018).

### **3.5.1 Organické substráty**

Organické substráty mohou být syntetické, například polyuretan, nebo čistě organické a to například rašelina nebo substráty na bázi dřeva. Avšak organické materiály, které jsou nejvíce dostupné a použitelné, jsou rašelina, komposty, kůra a zbytky dřeva (Gruda & Schnitzler 2004; Schmilewski 2009; Raviv 2013).

Rašelina je neobnovitelným zdrojem a využívání rašelinišť má velký dopad na životní prostředí, především díky úloze rašelinišť v globálním uhlíkovém cyklu, protože představují nejvýznamnější dlouhodobé úložiště uhlíku suchozemských ekosystémů (Gruda 2019).

V současnosti existují silná omezení těžby ze strany vnitrostátních právních předpisů (Gonnella & Renna 2021). Například komposty na bázi mořských řas lze užitečně použít jako udržitelnou náhražku rašeliny pro formulování směsí bez půdy pro pěstování rostlin v květináčích, dokonce až po kompletní náhradu rašeliny (Gonnella & Renna 2021).

### **3.5.2 Anorganické substráty**

Všechny anorganické substráty pocházejí z přírodních zdrojů a pouze část z nich je před použitím podrobena následnému průmyslovému zpracování. Rockwool (kamenná vlna) se původně vyráběl jako izolace ve stavebnictví. Díky své nízké hmotnosti a snadné manipulaci se stal dominantním substrátem pro produkci ovoce a zeleniny ve sklenících po celém světě (Gruda et al. 2016). Dále se velmi často používá perlit, štěrk, písek, zeolit, vulkanická porézní hornina – pemza a vermikulit, což je slídový/jílový expanzivní či porézní minerál (Grillas et al. 2001).

### **3.5.3 Alternativní substráty**

Mezi materiály testovanými jako alternativní složky pěstebních médií v plodinách bez půdy byly navrženy mandlové skořápky, jako náhrada minerální vlny nebo perlitu. To zejména



v regionech, kde jsou pěstovány a jsou okamžitě dostupné mandle a snížilo by to převyšující náklady na dopravu (Savvas & Gruda 2018; Gonnella & Renna 2021). Dalšími složkami substrátů s podobnými možnostmi při pěstování bez půdy by mohly být slupky oliv nebo lískových ořechů, slupky rýže nebo arašídů či ovčí vlna (Kennard et al. 2020; Gonnella & Renna 2021).

Zvýšení udržitelnosti systémů bez půdy také souvisí s vhodností pěstebních médií k recyklaci a proveditelností úprav požadovaných pro jejich opětovné použití. Poslední faktor se mění podle různých materiálů použitých jako substrát a vlivů na jejich fyzikální a chemické vlastnosti (Gruda 2019). Obecně jsou inertní substráty vhodnější pro opětovné použití, vzhledem k vyšší účinnosti dezinfekčních ošetření a absenci absorpčních nebo retenčních procesů na jejich povrchu. Rockwool a perlit jsou typicky inertní materiály, které lze teoreticky mnohokrát dezinfikovat a znovu použít, ale ve skutečnosti se znovu používají až pro tři pěstební cykly, přičemž je třeba mít na paměti, že úspěch pěstování s opakovaně použitými substráty také do značné míry závisí na zkušenostech pěstitele (Kennard et al. 2020).

Organické substráty podléhají biologické nestabilitě jak po opětovném použití při pěstování plodin, tak po aplikovaných úpravách, jako je parní dezinfekce. Pravděpodobně některé organické složky, jako jsou mandlové skořápky a biouhel, mohou splnit požadavky na recyklaci (Kennard et al. 2020; Gonnella & Renna 2021).

## **3.6 Podmínky pěstování**

### **3.6.1 Fyzikální podmínky**

Fyzikální vlastnosti substrátů jsou velmi důležité, jelikož mají silný dopad na dostupnost vzduchu a vody pro kořeny rostlin, ale zároveň tyto vlastnosti nemohou pěstitelé změnit. Optimální dostupnost vody je předpokladem pro dobrý růst rostlin, protože jak vlhkostní napětí, tak hydraulická vodivost dramaticky klesají, když obsah vody klesá pod 5–10 kPa (Gizas et al. 2012; Savvas & Gruda 2018).

Kromě vlastností substrátu hraje zásadní roli jak geometrie nádoby, výrobní proces, ale také celkový režim zavlažování (Heller et al. 2015). Nádoby pro rostlinnou produkci jsou mnohem menší a mělčí než půdní profil a mohly by se rychle nasytit nebo vyschnout (Gruda et al. 2013; Gruda et al. 2016). Skutečná kapacita substrátu v kontejneru, a tím i vzduchová poréznost a kapacita zadržování vody, závisí na výšce kontejneru (Savvas & Gruda 2018).

### 3.6.2 Chemické podmínky

Pro hodnocení chemických vlastností jsou nejdůležitějšími kritérii pH, kationtová výměnná kapacita (CEC) a koncentrace živin (Gruda et al 2013; Gruda et al. 2016). Na rozdíl od fyzikálních podmínek mohou být chemické vlastnosti do určité míry upraveny pěstiteli.

pH hraje důležitou roli v celém systému, protože určuje dostupnost různých živin (Delaide et al. 2016). Pro většinu rostlin je optimální dostupnost živin dosaženo, když je pH v kořenovém prostředí mezi 5,5 a 6,0. Více o ideálním pH pro určité plodiny v tabulce číslo 1 pod textem. Obecně platí, že nižší hodnota pH a nižší koncentrace živin a soli jsou pro přípravu a produkci lepší (Gruda et al. 2013). Například dusík se absorbuje lépe při pH 6,0, zatímco fosfor a draslík jsou lépe absorbovány při pH 6,25 a vyšším (Gopinath et al. 2017).

Výchozí materiály s těmito vlastnostmi, jako je například rašelina, umožňují výrobu substrátu, kde hodnotu pH lze snadno zvýšit přidáním vápence je možné regulovat a vyrovnávat relativně vysokou hodnotu pH jiných komponentních materiálů a požadavky různých rostlin lze přesně kontrolovat (Gruda et al. 2013).

Výzkum s hydroponickou a akvaponickou produkcí okurek však naznačuje, že celkové výnosy mohou být udržovány na hodnotách pH, které jsou nad hodnotami doporučenými pro produkci rostlin, a to i při sníženém obsahu živin v recirkulačních roztocích (Tyson et al. 2008; Anderson et al. 2017).

Výzkum porovnává pěstování okurek při pH 5,0, 6,0, 7,0 a 8,0. Výnos raných okurek byl vyšší při pH 5,0 ve srovnání s výnosem při pH 8,0, ale celkový výnos nebyl ovlivněn pH. Okurky v recirkulační kultuře tak mohou být udržovány na hodnotách pH optimálnějších pro nitrifikaci (pH 7,5–8,0), s výjimkou produkce pro trhy v rané sezóně. Je zapotřebí výzkum s jinými hydroponickými rostlinnými plodinami, jako jsou rajčata a papriky, aby se zjistilo, zda lze rozsahy pH zvládnout tak, aby vyhovovaly nitrifikaci, a tím zlepšit udržitelnost akvaponické produkce (Tyson et al. 2008; Tyson et al. 2011).

Tabulka 1: Optimální hodnota pH na vybrané plodiny (Gopinath et al. 2017).

| <b>Plodina</b>  | <b>pH</b> |
|-----------------|-----------|
| <b>Okurka</b>   | 5,8 – 6,0 |
| <b>Salát</b>    | 5,5 – 6,5 |
| <b>Cibule</b>   | 6,0 – 7,0 |
| <b>Brambory</b> | 5,0 -6,0  |
| <b>Špenát</b>   | 5,5 – 6,6 |
| <b>Rajčata</b>  | 5,5 – 6,5 |
| <b>Mrkev</b>    | 5,8 – 6,4 |

### 3.6.3 Biologické podmínky

Systémy musí být bez škůdců, patogenů a plevelů, biologicky stabilní a netoxické (Eck et al. 2019). Například vysoký obsah draslíku a manganu a přítomnost fenolických sloučenin, terpenů, organických kyselin a mastných kyselin mohou způsobit závažné problémy (Maher & Thomson 1991; Morel & Guillemain 2004; Savvas & Gruda 2018).

Ke snížení nebo odstranění vlastností fytotoxicity byly použity metody jako kompostování, stažení, louhování, praní, míchání a hnojení (Gruda et al. 2013).

Grunert et al. (2016) uvedl, že anorganické a organické substráty mají odlišnou strukturu bakteriálního společenství, stabilitu a funkčnost v bezpůdních systémech. Rozdíly v komunitách lze využít k rozvoji strategií, jak přejít k udržitelnému zemědělství se zvýšenou produktivitou a kvalitou.

Všechny organické materiály podléhají biologickému rozkladu (Eck et al. 2019). Ačkoli vysoká biologická rozložitelnost organických substrátů usnadňuje jejich recyklaci, může to být problém při jejich použití. Rychlost degradace určuje kromě vlastností materiálu řada faktorů, jako např. voda, kyslík, teplota a světlo. Biologickou rozložitelnost substrátů lze měřit na základě rychlosti dýchání - produkovaného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), nebo rychlosti spotřeby O<sub>2</sub>. Kromě toho může dýchání rostlin ovlivnit koncentrace CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> v substrátech (Dresbøll 2010; Savvas & Gruda 2018).

Přestože je dobře známo, že výměna plynů v kořenové zóně by mohla silně ovlivnit růst pěstovaných rostlin, biologická rozložitelnost sama o sobě nemůže určit a poskytnout informace o růstu rostlin (Gruda et al. 2013). Dresbøll (2010) zkoumal šest různých pěstebních médií na bázi rašeliny a také tři směsi rašeliny a perlitu, zhutněné o 0 %, 20 % nebo 40 % s krátkými obdobími nízké dostupnosti kyslíku odpovídajícími kolísání obsahu vody během

zavlažování. Přes značné rozdíly v jejich složení a období anoxie na dně nádob nebyla kvalita rostlin ani následná udržovací kvalita ovlivněna. Navíc některé substráty, jako například dřevěná vlákna, mohou imobilizovat část dusíku během jejich použití (Savvas & Gruda 2018).

### 3.7 Pěstované plodiny

V bezpůdních systémech může růst velké množství rostlin, plodin nebo zeleniny. Kvalita produkce, chuť a nutriční hodnota konečných produktů je obecně vyšší než při přirozeném pěstování na půdě. Mnohé experimentální poznatky naznačují, že listovou zeleninu (hlávkový salát, špenát, petržel, řapíkatý celer) lze úspěšně pěstovat v bezpůdních systémech. Salát a špenát jsou nejslibnějšími druhy pro pěstování v integrovaných hydroponických a akvaponických systémech, především díky jejich vyššímu růstu a kapacitě příjmu živin (Sharma et al. 2018).

Cena na trhu a poptávka je ve většině případů limitujícím faktorem intenzivní celoroční produkce. Vysokých výnosů lze dosáhnout optimálním řízením klimatických podmínek ve skleníku, ale zároveň nemusí splňovat požadavky trhu - nabídka neodpovídá poptávce. Ačkoli ekonomické faktory a politická rozhodnutí, především dotace na konkrétní plodiny, mohou mít podstatný vliv na výběr plodin, důraz je zde kladen na možnosti pro konkrétní skleníkové agrosystémy, často úzce spojené s agroenvironmentálními omezeními. Výběr kultivarů také závisí na typu farmy: střední a velké farmy mohou prodávat své produkty na národních a mezinárodních trzích, zatímco malé farmy produkují pro uspokojení potřeb rodiny nebo pro omezené zisky na místních trzích (Resh 2013).

Skleníky s bezpůdními systémy se nejvíce soustřeďují na produkci zeleniny z čeledi *Solanaceae* (rajče, paprika, lilek) a *Cucurbitaceae* (meloun, letní tykev, vodní meloun, okurka). Tyto plodiny (představující více než 80 % chráněné oblasti ve většině středomořských zemí) vyhovují chladným skleníkovým podmínkám a splňují požadavky místního trhu. Jejich úspěch v chráněném pěstování je způsoben především velkou spotřebou, dobrou adaptací na nestabilní klimatické podmínky a například na dlouhé kultivační cykly (Resh 2013).

Srovnání výtěžnosti produktu, celkových fenolických látek, celkových flavonoidů a antioxidačních vlastností bylo provedeno u různých listových zelenin či bylinek (bazalka, mangold, petržel a červená kapusta) a ovocných plodin (paprika, cherry rajčata, okurka a tykev) pěstované v bezpůdních systémech a na poli. Průměrný nárůst výnosu asi o 19 %, 8 %, 65 %, 21 %, 53 %, 35 %, 7 % a 50 % byl zaznamenán u bazalky, mangoldu, červeného zelí, petržele, papriky, cherry rajčat, okurka a dýně (Gopinath et al. 2017).

Bezpůdní systémy se dnes již běžně využívají ve Španělsku, Francii, Belgii, Německu, Itálii, Japonsku, Jižní Koreji, Izraeli, Kolumbii a Číně. Největší oblibě se těší v Nizozemsku, kde je tímto způsobem výroby vybaveno téměř 95 % skleníků (Hickman 2017). Ve Spojených státech se téměř veškerá zelenina produkovaná ve sklenících pěstuje v bezpůdních systémech. Což představuje zhruba 1 425 ha skleníků, které se využívají k produkci zeleniny (rajčata, paprika, okurky a salát), z toho 16 ha je určeno salátu (Holmes 2017). Přehled nejčastěji pěstovaných plodin je uveden v Tabulce 2 pod textem. Celosvětově je odhadovaná plocha skleníkové zeleniny 489 214 ha, zatímco bezpůdní systémy pro zeleninu představují 95 000 ha (Hickman 2017; Gullino et al. 2019).

Tabulka 2: Nejčastěji pěstované plodiny v bezpůdních systémech (Singh & Singh 2012).

| <b>Zelenina</b>         | <b>Rajče</b>   | <b><i>Lycopersicon esculentum</i></b>  |
|-------------------------|----------------|----------------------------------------|
|                         | Paprika        | <i>Capsicum annum</i>                  |
|                         | Lilek          | <i>Solanum melongena</i>               |
|                         | Fazole         | <i>Phaseolus vulgaris</i>              |
|                         | Řepa           | <i>Beta vulgaris</i>                   |
|                         | Brukev zelná   | <i>Brassica oleracea var. capitata</i> |
|                         | Květák         | <i>Brassica oleracea var. botrytis</i> |
|                         | Okurka         | <i>Cucumis sativus</i>                 |
|                         | Meloun         | <i>Cucumis melo</i>                    |
|                         | Ředkvičky      | <i>Raphanus sativus</i>                |
|                         | Cibule         | <i>Allium cepa</i>                     |
|                         | Brambory       | <i>Solanum tuberosum</i>               |
| <b>Listová zelenina</b> | Salát setý     | <i>Lactuca sativa</i>                  |
|                         | Řapíkatý celer | <i>Apium graveolens</i>                |
|                         | Špenát         | <i>Spinacea oleracea</i>               |
| <b>Koření</b>           | Petržel        | <i>Petroselinum crispum</i>            |
|                         | Máta           | <i>Mentha spicata</i>                  |
|                         | Koriandr       | <i>Coriandrum sativum</i>              |
| <b>Ovoce</b>            | Jahody         | <i>Fragaria ananassa</i>               |

### 3.7.1 Salát setý (*Lactuca sativa* L.)

V celosvětovém měřítku představuje hlávkový salát (*Lactuca sativa* L.) jednu z nejdůležitějších listových zelenin s přibližně 27 miliony metrickými tunami vyprodukovanými ročně (FAOSTAT 2019).

Obvykle se konzumuje v různých druzích salátů: míchané či čerstvě řezané saláty a výrobky z baby listů (Kim et al. 2016). V závislosti na typu listu a podmínkách růstu mají jeho jedlé listy vysokou nutriční hodnotu (Touliatos et al. 2016; El-Nakhel et al. 2020).

Životní cyklus hydroponického salátu je ve srovnání s tradičně pěstovaným salátem velmi krátký. Salát, který je pěstován bezpůdně, lze sklízet už po 35 - 40 dnech produkce. Salát lze úspěšně pěstovat v systému NFT a v tomto systému lze efektivně vypěstovat více než 8 plodin ročně (Sharma et al. 2018). Horizontální a vertikální hydroponický systém byl také hodnocen s různými živnými roztoky pro optimalizaci výnosu salátu (Touliatos et al. 2016).

Pěstování salátu v recirkulačním hydroponickém systému ve vzdálenosti 50 rostlin m<sup>-2</sup> významně zvýšilo výnos a výnosové složky (Maboko & Du Plooy 2013).

Demsar et al. (2004) studoval vliv světelně závislé aplikace dusičnanů na růst a výnos aeroponicky pěstovaného salátu. He & Lee (1998) zjistili, že je lepší růst výhonků, kořenů a fotosyntetické odezvy tří kultivarů salátu (*Lactuca sativa* L.) u rostlin pěstovaných v bezpůdných systémech než u běžného pěstování v půdě.

Stejně jako hlávkový salát, většina ostatní listové zeleniny dobře poroste v hydroponickém systému (El-Nakhel et al. 2020). Špenát nejen lépe prospívá, ale také představuje další výhodu pro konzumenty a tou je, že ve špenátu již není písčité drť z půdy. Dalšími dobrými druhy listové zeleniny jsou kapusta, rukola, hořčice, řeřicha a mangold. Sklizeň může probíhat najednou nebo po částech odstříhnout a zbytek rostliny nechťat ještě růst (Touliatos et al. 2016).

### 3.7.2 Špenát

Kromě hlávkového salátu byly nedávno provedeny různé hydroponické experimenty s použitím špenátu jako modelové plodiny. Ranawade et al. (2017) porovnali výnos špenátu v hydroponii, akvaponii a tradičním systému, ve kterém byly k podpoře rostlin použity perlit (akvaponie) a rašelina (hydroponie). Dle studie bylo zjištěno, že výnos akvaponicky pěstovaného špenátu byl o něco vyšší než u hydroponicky pěstovaného špenátu. Dále výsledky studií s použitím mořské vody se solí ukázaly, že slanost má negativní dopad na vegetativní růst. Špenát má ale určitou toleranci vůči slané vodě (Caparrotta et al. 2019). Když byl špenát pěstován v plovoucím systému, nedostatek provzdušňování a hypoxie nebyly natolik závažné, aby ovlivnily výnos, protože špenát je plodina krátkodobá, ale zato kvalita z části ovlivněna byla (Lenzi et al. 2013).

### 3.7.3 Rajčata

Pro pěstování rajčat lze použít mnoho hydroponických systémů, ale NFT a technika hlubokého toku (DFT) jsou běžně používanými systémy pro úspěšnou produkci rajčat (Sharma et al. 2018). Pěstování rajčat v systému NFT s pravidelnou recyklací živných roztoků zlepšilo růst, produktivitu a minerální složení, zatímco v NFT s prodlouženou recyklací živného roztoku se výtěžnost snížila (Zekki et al. 1996). Otevřené a uzavřené hydroponické systémy byly hodnoceny z hlediska užitečnosti různých kultivarů rajčat a v uzavřeném systému bylo dosaženo vyššího tržního výnosu, protože v důsledku praskání plodů byl výnos snížen v otevřeném systému (Maboko et al. 2011).

### 3.7.4 Brambory

International Potato Center (CIP) nedávno vyvinulo a podpořilo produkci minihlíz na základě nového, rustikálního a veřejně dostupného aeroponického systému. Výsledky ukázaly, že aeroponický systém je životaschopnou technologickou alternativou pro komponentu produkce minihlíz brambor (Muhibuddin et al. 2018). V rámci systému osiva bramborové hlízy, který produkuje větší počet hlíz a hmotnost hlíz s vysokým výnosem (Rykaczewska 2016). Rostliny, jakmile byly vyčištěny meristémovou kulturou a indukcí tuberizace v aeroponickém systému, rychle produkovaly vysoce kvalitní hlízy bramborového semene, které jsou bez kontaminace patogeny. Množení hlíz brambor bylo snadné a byly přímo vysazeny na hlavním poli. Aeroponický systém má tedy potenciál zvýšit příjmy a snížit náklady na produkci kvalitního osiva, čímž se stane dostupnější pro pěstitele v rozvojových zemích, kde je produkce brambor silně omezena používáním nekvalitních semenných hlíz. Bezpůdní systémy pěstování jsou jednou z nejrychlejších metod množení semen. Jedna rostlina bramboru může produkovat více než 100 minihlíz v jedné řadě, na rozdíl od konvenční metody, která vytváří přibližně 8 dceřiných hlíz pouze v průběhu roku, zatímco pouze 5 až 6 hlíz na rostlinu se vyprodukuje pomocí půdy ve skleníku za 90 dní (Hussey & Stacey 1981; Muhibuddin et al. 2018).

### 3.8 Příjem živin

Vysoký výnos a kvalita plodin pěstovaných v systémech bez půdy jsou možné pouze tehdy, pokud je výživa optimalizována. To znamená přesné řízení všech faktorů, které jsou zapojeny do výživy plodin (Sharma et al. 2018; Eck et al. 2019).

Jedná se například o složení živného roztoku, zásobu vody, teplotu živného roztoku, koncentraci rozpuštěného kyslíku, elektrickou vodivost (EC) a pH samotného živného roztoku (El-Nakhel et al. 2020). Pokud je některý z těchto faktorů v neoptimálních podmínkách, mohou rostliny trpět stresem vedoucím k poklesu výnosů a kvality produktu (Savvas & Gruda 2018). Pro upřesnění rozsahu optimálních podmínek konkrétní plodiny je potřeba přesná diagnostika stresu rostlin způsobeného nesprávným managementem některého z výše uvedených faktorů (Delaide et al. 2016). Tento přehled analyzuje u každého faktoru aspekty, které je třeba vzít v úvahu při určování optimálních rozsahů a fyziologické metody, které lze použít k diagnostice stresu rostlin v neoptimálních podmínkách. Mezi nejrozšířenější metody hodnocení stresu rostlin patří měření fotosyntetické aktivity (výměna listových plynů, fluorescence chlorofylu, obsah pigmentu a související enzymové aktivity), oxidativní stres a antioxidační kapacita,



obsah a rozdělování několika sloučenin v rostlině (sacharidy, hormony, aminokyseliny), aktivita specifických enzymů, vztahy rostlin s vodou a exprese specifických genů (Gorbe & Calatayud 2010).

Při pěstování v systémech bez půdy je proto velmi důležité naučit se optimalizovat výživu plodin tak, aby výhody výrazně převýšily nevýhody (Eck et al. 2019). Výhody a nevýhody bezpůdních systémů zhodnotil Olympios (2002). Nesprávné řízení kteréhokoli z těchto faktorů může vést ke stresu rostlin. Přesná detekce stresu je proto nezbytná pro identifikaci nevhodných strategií managementu a pro vypracování doporučení pro pěstitele ohledně výše uvedených faktorů s cílem získat maximální výnos a kvalitu zahradnických produktů (Gorbe & Calatayud 2010; Resh 2013).

Rostliny potřebují 17 základních anorganických živin pro udržení optimální kondice zdraví a významného výnosu (Kochian 2000; El-Nakhel et al. 2020). Rolot et al. (2002) uvedl, že hlavními nezbytnými složkami živin potřebnými pro energický růst rostlin jsou fosfor, síra, draslík, dusík a zinek. Uhlík a kyslík jsou dodávány přímo z atmosféry (Delaide et al. 2016). Při nedostatku těchto prvků rostlina nemůže existovat a tyto prvky nelze vyměnit za žádné jiné živiny. Proto se v u bezpůdních systémů živiny dodávají skrz živný roztok prostřednictvím atomizačních trysek. Je důležité dodávat přesné základní živiny ve správný čas s požadovanou koncentrací. Až dosud různí výzkumníci používali různé koncentrace živin pro přípravu vody bohaté na živiny. Existuje několik receptur živných roztoků (Eck et al. 2019). Tyto receptury se dosud většinou používají v aeroponickém systému. Úspěch či neúspěch systému závisí především na přísném managementu živin. Proto je důležité manipulovat a upravovat hodnoty EC a pH vodního živného roztoku (Lakhari et al. 2018; El-Nakhel et al. 2020).

## 4 Metodika

Důležitou součástí této diplomové práce je praktická část, která si klade za cíl porovnat nutriční a chemické složení salátu setého pěstovaného v akvaponii a hydroponii. Práce je součástí projektu NAZV "Diverzifikace a posílení konkurenceschopnosti akvakultury podporou akvaponie jako inovativní zemědělské technologie produkce potravin“.

Místem analýzy a zpracování vzorků byla Katedra pedologie a ochrany půd na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity (FAPPZ ČZU). Doba přípravy a následné analýzy vzorků byla na podzim 2021 a probíhala do března 2022.

Analyzované vzorky byly zajištěny za pomoci Ing. Veroniky Tůmové, která poskytla možnost analyzovat vzorky salátů. Ty byly pěstované jak na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů FAPPZ, ale také ve Výzkumném ústavu v Berlíně (IGB Berlín), které jsou v metodice práce popsány, ale samotná praktická část této diplomové práce začínala až s prací se vzorky a následnou analýzou. Vše popsáno od kapitoly 4.3 Zpracování vzorků salátu.

### 4.1 Vzorky salátů z ČZU

Vzorky salátů pocházely z aeroponického pěstování, které bylo realizováno na ČZU v Marsonaut laboratoři. Obrázky 9 a 10 pod textem demonstrují, jak růst v Marsonaut laboratoři probíhal. Pěstování zde probíhalo formou aeroponie, kdy je živný roztok rozprašován přímo na rostliny formou jemné mlhoviny.

Pro pěstování byla vybrána odrůda hlávkového salátu k rychlení (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.) – Bremex od výrobce SEMO. Výrobce na balení uvádí, že odrůda Bremex je velmi ranou odrůdou salátu a je především určena k rychlení. Tvoří středně velké cca 200–300 g světle zelené hlávky, které jsou pevné a dobře uzavřené. Odrůda je vysoce odolná k vybíhání a je rezistentní například k plísni salátové. Předpokládaná vegetační doba odrůdy pro kultivaci v půdě je 75–85 dní od výsadby do sklizně a sklízet lze jednorázově či postupně.

V rámci experimentu byly srovnávány dva typy výživy, hydroponická a akvaponická. Akvaponická výživa pocházela z komerční akvaponické farmy Aquaponia Lážovice a hydroponická výživa byla zakoupena od značky Flora Series. Kultivace v pěstebních systému probíhala po dobu 35 dnů. Od každého pěstebního systému se analyzovalo po třech vzorcích.



Obrázek 9: Marsonaut laboratoř na ČZU. Foto Ing. Veronika Tůmová.



Obrázek 10: Kořenové systémy během pěstování v Marsonaut laboratoři na ČZU. Foto Ing. Veronika Tůmová.

System byl kontrolován denně, byly měřeny a zaznamenávány hodnoty pH, EC, O<sub>2</sub> a teplota živných roztoků, přičemž vždy roztoky byly po změření následně doplněny do původního množství, aby bylo zamezeno přerušení zavedeného zavlažovacího cyklu. Byla

kontrolována vlhkost a teplota pěstební místnosti a v případě vychýlení hodnot ze stanovených hranic byly tyto parametry okamžitě upraveny. Časová náročnost každodenního úkonu se pohybovala mezi 30 – 60 minutami.

#### 4.1.1 Výživa vzorků z hydroponie

K míchání hydroponického roztoku, kterým rostliny salátu byly živeny, byla používána voda upravená reverzní osmotickou jednotkou od výrobce Grow Max Water. Kde voda po reverzní osmóze dosahuje vodivosti okolo 10-20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . V případě, že je potřeba vodivost snížit, lze za reverzní osmózu zařadit ještě ionexovou demineralizační patronu. Ta dokáže vodivost snížit na až hodnoty menší než 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Podíl reverzně osmotické vody činil 80 %, dalších 20 % bylo doplněno kohoutkovou vodou. Do vody bylo přimícháno třísložkové hnojivo od značky TriPart (Terra Aquatica). Hnojivo je složeno ze skožek TriPart Grow, TriPart Micro, Tripart Bloom. Koncentrace dle jednotlivých růstových fází a doby použití jsou znázorněny v tabulce 3.

Tabulka 3: Jednotlivé dávkování a koncentrace hnojiv TriPart (Terra Aquatica) dle růstové fáze salátů.

|                      | 1 <sup>st</sup> roots | 1 <sup>st</sup> true leaves | Growing       | Preflowering  |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
| <b>TriPart Grow</b>  | 0,5 ml/l              | 1 ml/l                      | 1,8 ml/l      | 2 ml/l        |
| <b>Tripart Micro</b> | 0,5 ml/l              | 1 ml/l                      | 1,2 ml/l      | 2 ml/l        |
| <b>TriPart Bloom</b> | 0,5 ml/l              | 1 ml/l                      | 0,6 ml/l      | 1,5 ml/l      |
| <b>Užívání</b>       | 1. – 7. den           | 7.–19.den                   | 20. – 49. den | 50. – 55. den |

Živný roztok byl každý den kontrolován přístrojem MultiLine® IDS, jímž byly měřeny parametry pH, EC, rozpuštěný  $\text{O}_2$  a teplota vody. Na tyto parametry byly pevně stanoveny hranice podle Singh & Bruce (2016), kteří pro hydroponickou kultivaci salátu doporučují pH 5,5 – 6,8; EC 1,2 – 1,8 dS/m a teplotu roztoku 16 – 21 °C. Míra rozpuštěného  $\text{O}_2$  se u hydroponického roztoku nedala ovlivňovat, systém aeroponie se sám postaral o dostatečnou hladinu  $\text{O}_2$  v živném roztoku. K jedinému vychýlení od hranic došlo při použití hnojiv TriPart při růstové fázi, která trvala posledních 5 dní kultivace. Vychýleným parametrem byla EC, která by podle výrobce měla dosahovat 2 dS/m, jelikož je do vody namíchána větší koncentrace hnojiv.

Následně bylo třeba doplnit hladinu roztoku v plastové bedně do původního stavu (15 l). Doplnění bylo přizpůsobeno naměřeným parametrům. Podle velikosti EC byla doplňována směs reverzní osmotické a kohoutkové vody v poměru 80 % ku 20 % nebo nově přimíchaný živný roztok z hydroponických hnojiv či směs obojího, aby došlo k uvedení hodnot EC do požadovaného stavu. Poté bylo upraveno pH za použití přípravků pH Plus či pH DOWN (Advanced Hydroponics, Holandsko). Hydroponický živný roztok byl z hlediska úprav pH nenáročný, k úpravám došlo pouze několikrát za celou dobu kultivace v systému.

#### **4.1.2 Výživa vzorků z akvaponie**

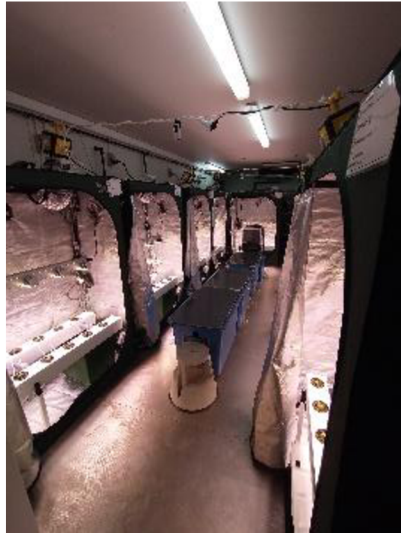
Akvaponický živný roztok, kterým byly živeny rostliny pěstované v akvaponii, byl přivážen každých 7 dní z akvaponické farmy Rybí zahrada v Lážovicích. Akvaponická voda byla na farmě odebírána ze sběrné nádrže polykultury. Polykultura ryb byla tvořena tilapiemi, koi kapry a baby sumečky, živnými krmivem Skretting Mervall (Skretting, Francie). Voda byla přečerpána do 50 l barelu, u kterého byly po přivezení do pěstírny okamžitě změřeny všechny kontrolní parametry (pH, EC, O<sub>2</sub>, teplota).

Průměrné hodnoty přivezené vody byly: pH 7,27; EC 1,205 dS/m; rozpuštěný O<sub>2</sub> 6,02 mg/l a teplota 21,88 °C. Barel s akvaponickou vodou byl skladován v pěstírně při teplotě přibližně 19 °C. Kontrolní parametry byly měřeny každý den, upravováno bylo ale jen množství rozpuštěného kyslíku ve vodě. Hodnota rozpuštěného kyslíku v živném roztoku nebyla stejně jako u výživy hydroponie ovlivnitelná, aeroponický systém se ale dokázal postarat o dostatečné množství rozpuštěného O<sub>2</sub> v roztoku.

## **4.2 Vzorky salátů z Berlína**

Druhá sada vzorků pocházela z experimentu ve spolupráci s Výzkumným ústavem v Berlíně Leibniz Institut of Freshwater Ecology and Fisheries v Německu (zkratkou IGB). Obrázek prostorů pěstování je pod číslem 11. Tento experiment srovnával tři typy výživy v DWC systémech. Jednalo se o RAS – recirkulační akvaponický systém, FA – fertilized akvaponii, což je akvaponie s použitím hnojiv, hydroponii a kontrolní vzorky pěstování salátů v půdě.

V rámci pěstování byl každý typ výživy testován ve třech opakování. V rámci jednoho pěstebního systému byla měřena teplota vzduchu a vody, ale také i vlhkost vzduchu. Dále byla denně měřena a zaznamenávána hodnota pH vody, konduktivita a obsah kyslíku.



Obrázek 11: Experimentální zázemí v IGB – devět pěstebních stanů s devíti technickými opakováními. Foto Ing. Veronika Tůmová.

Podmínky pro pěstování byly maximálně sjednoceny, tak aby rostliny měly v jednotlivých systémech srovnatelné podmínky. Což je například identická technika a zároveň jednotlivé komponenty systému, vzdálenost a intenzita LED osvětlení. Jako pěstovaná plodina byl vybrán salát neboli locika setá (*Lactuca sativa*). Délka pěstování činila 30 dní. Experiment byl realizován dvakrát.

Cílem experimentu bylo otestovat vliv výživy na růst a kvalitu pěstovaných rostlin. Mezi testované typy výživy patřila výživa akvaponická (RAS), akvaponická s doplněnými chybějícími živinami (FA – fertilized akvaponie) a hydroponická výživa. Akvaponická výživa pocházela z experimentálního systému v IGB. V rámci varianty akvaponické výživy s doplněnými živinami byl k výpočtu potřebného množství doplnění živin použit program Hydrobuddy, který obsah živin v akvaponické vodě srovnal s optimální recepturou pro salát. Součástí experimentu byla i testovací varianta pěstování v půdě, kdy byl zakoupen komerční půdní substrát.

### 4.3 Zpracování vzorků salátu

Praktická část této diplomové práce byla započata právě v této fázi, kdy byly převzaty vzorky salátu jak z Marsonaut laboratoře na ČZU, tak i vzorky z IGB z Berlína. Jak je již zmíněno výše v kapitole metodiky, vzorky zajistila Ing. Veronika Tůmová. Vzorky byly zabaleny do jednotlivých pytlíčků a popsány. Viz obrázek 12 pod textem. Navážka vzorků v pytlíčcích před usušením činila přibližně okolo 10 gramů (podle vydatnosti sklizeného



vzorku), následně byly vzorky usušeny při 85 °C po dobu přibližně 24 hodin do konstantní hmotnosti. Po usušení mi byly vzorky Veronikou předány dále k můmu dalšímu zpracování.



Obrázek 12: Příjem vzorků v usušeném stavu. Foto vlastní.

Před následnou prací byly vzorky mnou kvalitativně a kvantitativně zvaženy na analytických vahách. Vzorky ze stavu před usušením, kdy měly okolo zmíněných 10 g, měly v usušeném stavu v průměru již 1,7 g. S naváženými vzorky se dále pracovalo tak, že nejdříve bylo nutné vzorky salátu zhomogenizovat v automatickém ručním mlýnku téměř na prach. Viz obrázek 13 níže. Jednalo se o analytický mlýnek na biomasu IKA® typ A11 basic, který je určen pro mletí středně tvrdých materiálů do stupně 6 Mohsovy stupnice. Vzorky byly takto homogenizovány všechny a byly tak připraveny na další průběh práce.



Obrázek 13: Po kvalitativním navážení vzorků salátu následovalo jejich rozemletí na automatickém ručním mlýnku téměř na prach. Foto vlastní.

## 4.4 Příprava standardů

Pro analytické zpracování bylo důležité si před samotným měřením vzorků připravit řady standardů a tím si nakalibrovat měření na iontové chromatografii.

Na přípravu standardů byl použit organický standard ASTASOL® - MIX AN9106MHIC (Analytika s.r.o.), u kterého jsou analyty  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Jedná se o víceprvkový certifikovaný referenční materiál pro iontovou chromatografii ve vodě. Na standardy vybraných nízkomolekulárních kyselin byly připraveny z koncentrátů ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) čistých látek.

Použit byl koncentrát  $1 \text{ g L}^{-1}$  a ten byl naředěn na koncentrace 0,1; 1; 5; 10; 40 mg aniontu  $\text{L}^{-1}$  a výsledný objem, který byl u všech ředění 100 ml až na ředění  $40 \text{ g L}^{-1}$ , kde byl objem 50 ml. Vzorky byly převedeny do vialek a následně byly analyzovány pomocí iontové chromatografie.

## 4.5 Příprava vzorků

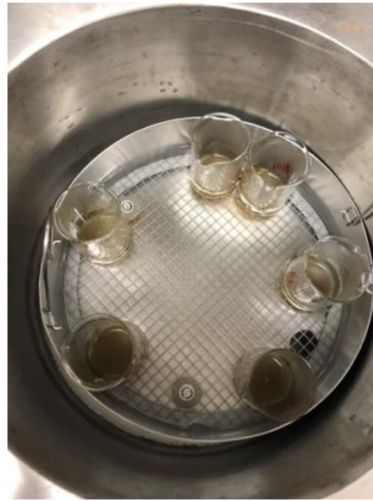
Po připravení standardů probíhala laboratorní příprava samotných vzorků salátu. Nejdříve proběhla navážka, kdy bylo do 50 ml kádinek naváženo  $0,1 \pm 0,005 \text{ g}$  rozemletého vzorku salátu, který byl zalit 10 ml horké destilované vody ( $< 0,055 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), která byla odměřena v odměrném válci. Takto připravené vzorky byly vloženy v kádince na 1 minutu do ultrazvuku, více na obrázku číslo 14. Následně byly vzorky filtrovány přes membránový filtr. Znázorněno na obrázku 15 pod textem. Jednalo se o jednorázový nylonový membránový filtr o velikosti pórů  $0,45 \mu\text{m}$ , který byl vždy u každého vzorku nandán na injekční stříkačku a použit na přefiltrování vzorku. Viz obrázek 16 pod textem.

U takto připravených přefiltrovaných vzorků bylo následně provedeno ředění 11x, kdy bylo napipetováno 0,5 ml přefiltrovaného vzorku a přidáno 5 ml destilované vody. Nejdříve bylo v rámci měření provedeno i ředění 51x, kdy bylo napipetováno 0,1 ml přefiltrovaného vzorku a doplněno o 5 ml destilované vody, avšak ředění 11x bylo dostatečné pro analýzu vzorků a zároveň k nepřesycení analytické kolony.

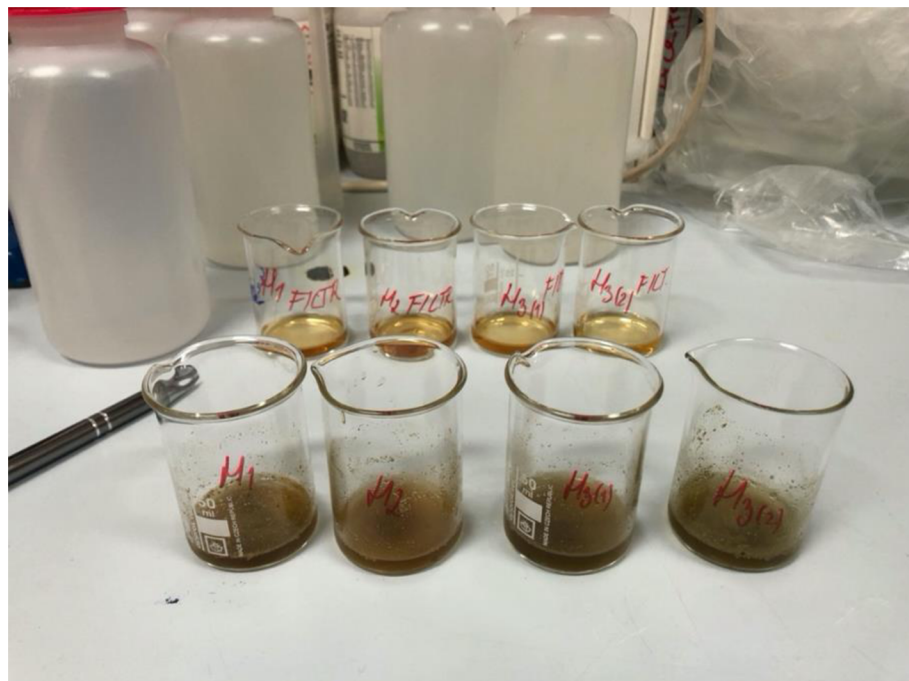
Dále byly provedeny ještě slepé, neboli blank vzorky. Vzorky byly připraveny stejným způsobem, avšak blank vzorky byly bez navážky vzorku salátu. Pouze bylo odměřeno 10 ml horké destilované vody na odměrném válci do kádinky a ta se na 1 minutu vložila do ultrazvuku. Následně se vzorek přefiltroval přes filtr, naředil a napipetal do vialky, která byla popsána příslušným názvem vzorku a k němu bylo přidáno písmeno B jako blank. Vzorky byly



převedeny do vialek, zavíčkované, popsány a poté vloženy do automatického dávkovače iontové chromatografie na stanovení aniontů.



Obrázek 14: Vložení vzorků salátu na 1 minutu do ultrazvuku. Foto vlastní.



Obrázek 15: Porovnání nefiltrovaných vzorků se vzorky, které byly přefiltrovány přes jednorázový membránový filtr o velikosti 0,45  $\mu\text{m}$ . Foto vlastní.



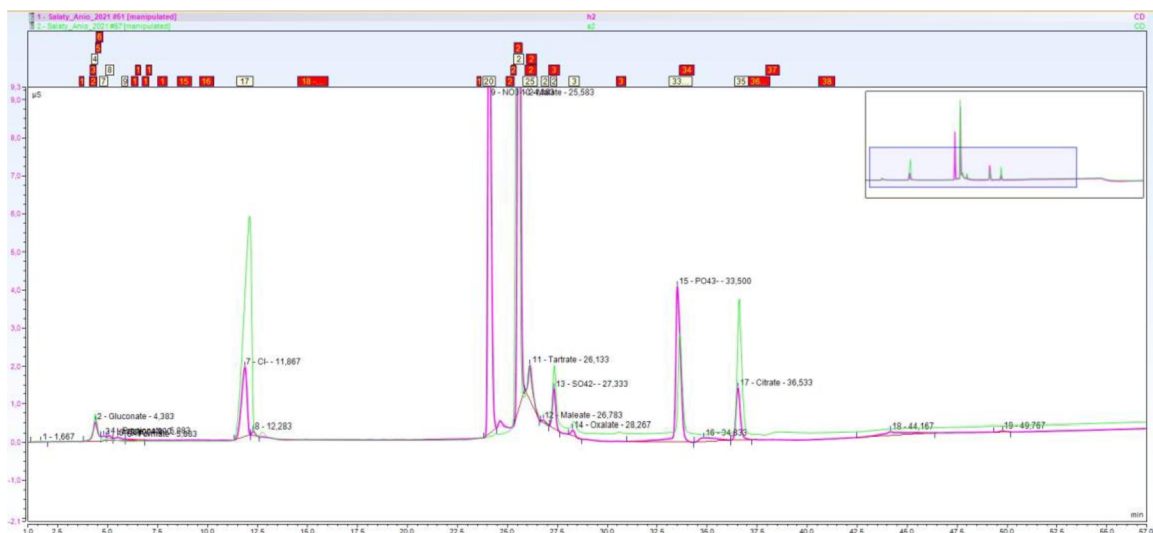
Obrázek 16: Filtrování vzorků pomocí filtru o velikosti 0,45 0,45  $\mu\text{m}$ . Foto vlastní.

## 4.6 Iontová chromatografie

Pro měření a analýzu iontů, které se vyskytují ve vodních výluzích salátu, byla použita iontová chromatografie Dionex™ ICS-4000 Integrated Capillary HPIC™ od výrobce Thermo Fisher Scientific. Pro stanovení základních anorganických aniontů ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) a aniontů nízkomolekulárních organických kyselin (například anionty kyseliny mléčné, octové, jablečné, vinné, šťavelové, citronové) ve vodném roztoku, neboli extraktu, byla použita iontová chromatografie ICS 1600 (Dionex, USA) nebo kapilární systém Dionex ICS 4000 (Thermo Scientific, USA).

Pro analýzu byla následně použita AS11-HC analytická kolona s mobilní fází KOH a gradientem, gradient mohl být upraven pro lepší separaci analytů. Analyt byl detekován konduktometricky po snížení vodivosti mobilní fáze pomocí supresoru ASRS 500 – 4 mm a po odstranění uhličitánů pomocí jednotky CRD 200. Pro potlačení posunu základní linie oxidu uhličitého bylo implementováno zařízení na odstraňování uhličitanu 200 (Thermo Scientific, USA).

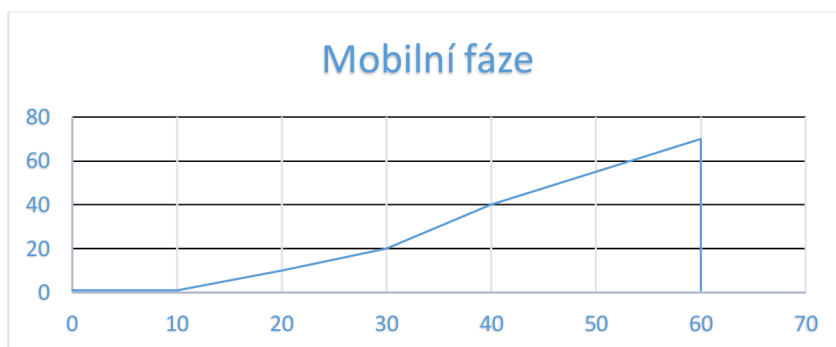
Chromatogramy byly zpracovány a vyhodnoceny pomocí softwaru Chromeleon 7.20 (Dionex, USA). Znázorněno na obrázku 17.



Obrázek 17: Vyhodnocené chromatogramy vzorku akvaponie (růžová barva) a hydroponie (zelená barva).

#### 4.6.1 Složení mobilní fáze

Složení mobilní fáze během analyzování vzorků na IC je znázorněno na grafu 1. Kdy na ose x je znázorněn čas v minutách a na ose y koncentrace v mM.



Graf 1: Složení mobilní fáze během času analyzování na IC.

#### 4.6.2 Gradientová křivka

Během gradientové křivky, neboli gradientové eluci, dochází ke změně složení mobilní fáze v průběhu analýzy. To se projeví jako změna iontové síly (vodivosti) roztoku, viz obrázek 17 s chromatogramem. Změny v iontové síle roztoku (způsobené gradientovou elucí) vedou k nárůstu proudu základní linie.

Generátory eluentu Dionex a několik čerpadel Dionex umožňují specifikovat lineární nebo nelineární křivky %-Gradient (koncentrační gradient). Pokud je vybráno více než jeden eluent, pumpa dodává proporcionální směs eluentů na základě procenta každého vybraného eluentu. V našem měření bylo použito pouze KOH. Typ křivky určuje, jak se v průběhu času objeví změna koncentrace dodávaného rozpouštědla. Používají se stejné hodnoty křivky 1 až 9.

- Křivka 5 (výchozí) je lineární. Změny ve složení dodávaného rozpouštědla v průběhu času jsou konstantní.
- Křivky 1 - 4 jsou konvexní směrem nahoru. Konvexní křivky způsobují rychlé změny ve složení rozpouštědla na začátku gradientu a pomalejší změny na konci. Změny sklonu v čase se stávají extrémními, protože křivky jdou od 4 (nejméně konvexní) do 1 (nejkonvexnější).
- Křivky 6 - 9 jsou konkávní směrem nahoru. Konkávní křivky způsobují pomalejší změny ve složení rozpouštědla na začátku gradientu a rychlé změny na konci. Změny sklonu v průběhu času se stávají extrémními, protože křivky jdou od 6 (nejméně konkávní) do 9 (nejvíce konkávní).

### 4.6.3 Zpracování dat

Výsledky z iontové chromatografie byly upraveny a vynásobeny příslušným ředěním (11 x), objemem destilované vody (10 ml) a vyděleny navázkou vzorku (0,1 g). Výsledné hodnoty jsou uváděné v mg aniontu na kg sušiny salátu ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ). Následně bylo vybráno z celkového počtu 30 analyzovaných aniontů pouze 11 hlavních detekovaných, které byly dále zpracovávány. U vzorků, kde množství nebylo detekováno, jelikož bylo menší než je detekční limit, bylo nutné, dle tabulky detekčních limitů, výsledky dosadit a dopočítat. Tabulka detekčních limitů iontové chromatografie je v příloze číslo 1. Dále byly výsledky vzorků upraveny v programu Microsoft Excel do tabulek. Vzorky byly rozděleny do skupin dle místa původu vzorků. Vzorků z ČZU byly rozděleny podle způsobu pěstování na vzorky hydroponické a na vzorky akvaponické. Naopak vzorky z Berlína z IGB byly, kromě akvaponie (RAS) a hydroponie, rozšířeny ještě o způsoby pěstování fertilized akvaponie (FA) a o pěstování v půdě. Fertilized akvaponie je typ akvaponie, kdy se přidávají hnojiva.

### 4.6.4 Vyhodnocení výsledků

S výsledky bylo pracováno pomocí programu Statistica 12 a Microsoft Excel. Statistické šetření bylo provedeno pomocí analýzy rozptylu čili za pomoci statistického testování ANOVA. Grafické znázornění bylo zpracováno v programu Statistica 12 pro lepší prezentaci výsledků. U všech anlyz rozptylu byly nastaveny stejné parametry:

- 1)  $H_0$ : Neexistuje statisticky významný rozdíl v analýzách rozptylu.  
 $H_A$ : Při porovnání alespoň jedné dvojice průměrů nalezneme významný rozdíl.
- 2)  $\alpha = 0,05$ .
- 3) Výběr testu: Jednofaktorová ANOVA. F – test:  $p < \alpha$ .

## 5 Výsledky

V příloze číslo 2 je úplná tabulka průměrných hodnot aniontů nízkomolekulárních organických kyselin a aniontů pro vzorky z ČZU, vzorky z Berlína a dva blank vzorky. Tabulky pro výsledky vzorků z ČZU jsou pod čísly 4, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty organických kyselin a tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty pro anorganické anionty. Pro vzorky z Berlína jsou vytvořeny tabulky číslo 6 pro organické kyseliny a pro znázornění výsledků anorganických aniontů je vytvořena tabulka 7.

### 5.1 Výsledky vzorků z ČZU

V tabulce 4 a 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty aniontů organických kyselin a anorganických aniontů společně se směrodatnou odchylkou a p-hodnotou ze statistického porovnání ANOVA, která však byla zpracována z hodnot, které jsou uvedeny v příloze 2. V případě výsledků vzorků z ČZU bylo porovnáváno mezi vzorky z hydroponie a akvaponie a následně bylo zjištěno, zda mezi vzorky existuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Tabulka 4: Analyzované hodnoty organických kyselin vzorků salátů z ČZU pro vyhodnocení analýzy rozptylu (průměr a směrodatná odchylka od průměru v  $\text{mg kg}^{-1}$  dw, 3 opakování pro každou variantu).

| Pěstování  | Mléčnany        | Octany       | Jablečnany       | Vinany         | Šťavelany    | Citráty         |
|------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|--------------|-----------------|
| Hydroponie | 355,575 ± 109,6 | 311,3 ± 57,9 | 41375,9 ± 5716,0 | 4277,6 ± 383,3 | 154,3 ± 33,9 | 4574,6 ± 1608,9 |
| Akvaponie  | 270,8 ± 54,9    | 247,9 ± 14,9 | 40320,7 ± 8046,8 | 5141,6 ± 452,3 | 190,7 ± 27,4 | 8363,1 ± 1193,5 |
| p-hodnota  | 0,283           | 0,185        | 0,924            | 0,514          | 0,971        | 0,027           |

Z tabulky číslo 4 lze vidět rozdíly v zastoupení jednotlivých organických kyselin. Při porovnání výsledků hydroponie a akvaponie byly stanoveny p-hodnoty, které v případě aniontů kyselin **mléčné** v hydroponii 355,575 ± 109,6  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a akvaponii 270,8 ± 54,9  $\text{mg kg}^{-1}$  dw, **octové** v hydroponii 311,3 ± 57,9  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a v akvaponii 247,9 ± 14,9  $\text{mg kg}^{-1}$  dw, **jablečné** v hydroponii 41375,9 ± 5716,0  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a akvaponii 40320,7 ± 8046,8  $\text{mg kg}^{-1}$  dw, **vinné** v hydroponii 4277,6 ± 383,3  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a akvaponii 5141,6 ± 452,3  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a **šťavelové** v hydroponii 154,3 ± 33,9  $\text{mg kg}^{-1}$  dw a akvaponii 190,7 ± 27,4  $\text{mg kg}^{-1}$  dw neměly statisticky významné rozdíly v rozptylech na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Avšak v případě aniontů kyseliny **citronové**, kdy  $p\text{-hodnota} = 0,027 < \alpha = 0,05$ , došlo ke statisticky významnému rozdílu mezi hydroponií  $4574,6 \pm 1608,9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a akvaponií  $8363,1 \pm 1193,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ .

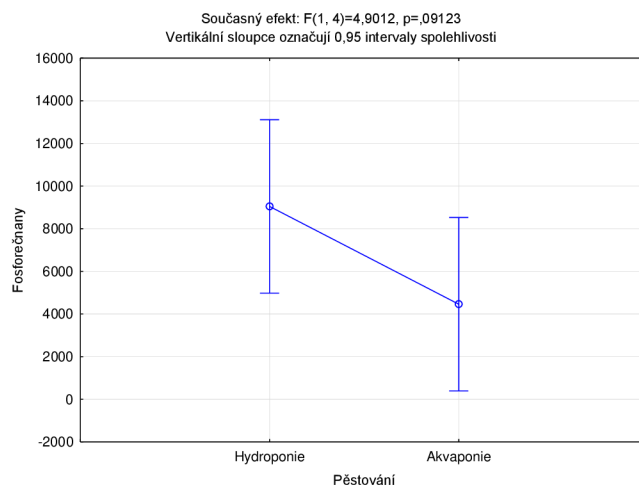
Tabulka 5: Analyzované hodnoty anorganických aniontů vzorků salátů z ČZU pro vyhodnocení analýzy rozptylu ( průměr a směrodatná odchylka od průměru v  $\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$ , 3 opakování pro každou variantu).

| Pěstování         | Chloridy            | Dusitany    | Dusičnany          | Sírany             | Fosforečnany       |
|-------------------|---------------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Hydroponie</b> | $1680,3 \pm 707,4$  | $1,1 \pm 0$ | $9568,6 \pm 320,8$ | $814,8 \pm 128,5$  | $8202,0 \pm 351,0$ |
| <b>Akvaponie</b>  | $5566,2 \pm 1081,6$ | $1,1 \pm 0$ | $47,4 \pm 470,4$   | $1093,0 \pm 141,9$ | $4504,9 \pm 357,4$ |
| <b>p-hodnota</b>  | 0,0053              |             | 0,0052             | 0,0274             | 0,9123             |

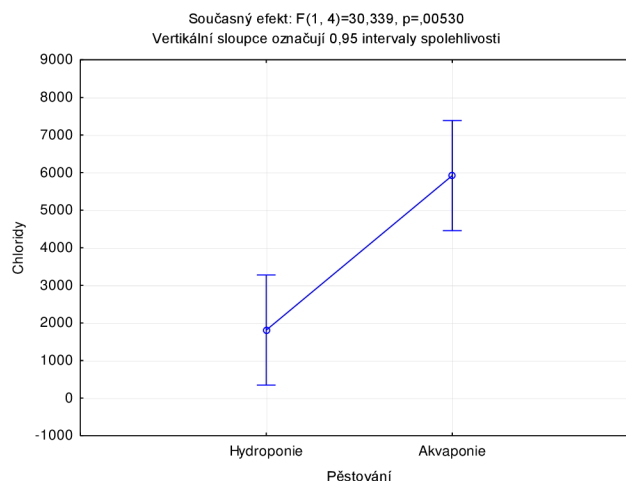
Z tabulky číslo 5 lze vyčíst zastoupení jednotlivých anorganických iontů. Při porovnání výsledků hydroponie a akvaponie byly stanoveny p-hodnoty, které v případě **fosforečnanů**  $8202,0 \pm 351,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a  $4504,9 \pm 357,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  neměly statisticky významné rozdíly v rozptylech na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Na obrázku 18 je znázorněn graf porovnání fosforečnanů v hydroponii a akvaponii pomocí ANOVY.

V případě dusitanů nebyly zjištěny žádné rozdíly ani z průměrných hodnot, jelikož byly totožné  $1,1 \pm 0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a tím pádem se ani p-hodnota nestanovovala.

U zbylých aniontů – **chloridů** v hydroponii  $1680,3 \pm 707,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a akvaponii  $5566,2 \pm 1081,6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ , **dusičnanů** v hydroponii  $9568,6 \pm 320,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a akvaponii  $47,4 \pm 470,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a **síranů** v hydroponii  $814,8 \pm 128,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a akvaponii  $1093,0 \pm 141,9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  byl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a jelikož p-hodnoty byly nižší než hodnota  $\alpha$ . Na obrázku 19 je znázorněn graf porovnání obsahu chloridů pomocí ANOVY.



Obrázek 18: Vliv typu pěstování na obsah fosforečnanů (výstup ANOVA). Mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .



Obrázek 19: Vliv typu pěstování na obsah chloridů (výstup ANOVA). Mezi vzorky salátů pěstovaných v hydroponii a akvaponii existuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

## 5.2 Výsledky vzorků z Berlína

V tabulce 6 a 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty aniontů organických kyselin a anorganických aniontů společně se směrodatnou odchylkou a p-hodnotou ze statistického porovnání ANOVA, která však byla zpracována z hodnot, které jsou uvedeny v příloze 2. V případě výsledků vzorků z Berlína bylo porovnáváno mezi vzorky z RAS – recirkulační akvaponický systém, hydroponie, FA – fertilized akvaponie a kontrolním vzorkem salátů pěstovaných v půdě. Následně bylo zjištěno, zda mezi vzorky existuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Pokud se statistický rozdíl objevil za pomoci Scheffeho testu, byla provedena další ANOVA, kde už nebyl kontrolní vzorek půdy, aby nedocházelo k odchýlkám při porovnání se vzorky z ČZU, kde kontrolní vzorek pěstování v půdě nebyl.

Tabulka 6: Analyzované hodnoty aniontů organických kyselin vzorků salátů z Berlína pro vyhodnocení analýzy rozptylu (průměr a směrodatná odchylka od průměru v mg kg<sup>-1</sup> dw, 6 opakování pro každou variantu).

| Pěstování         | Mléčnany       | Octany        | Jablečnany        | Vinany          | Šťavelany     | Citráty          |
|-------------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|---------------|------------------|
| <b>RAS</b>        | 862,4 ± 298,5  | 467,5 ± 327,8 | 55696,5 ± 18256,9 | 2269,1 ± 557,7  | 559,2 ± 77,2  | 14533,6 ± 6017,1 |
| <b>Hydroponie</b> | 915,8 ± 263,0  | 455,0 ± 173,9 | 35573,8 ± 5889,0  | 2382,2 ± 690,7  | 583,4 ± 48,6  | 17646,6 ± 4909,8 |
| <b>FA</b>         | 846,8 ± 368,5  | 402,9 ± 345,5 | 40101,8 ± 11248,0 | 2101,1 ± 589,9  | 585,9 ± 193,8 | 21474,4 ± 7520,1 |
| <b>Půda</b>       | 1343,8 ± 286,3 | 426,9 ± 335,9 | 40000,0 ± 11884,8 | 3114,5 ± 1753,4 | 567,4 ± 112,8 | 10068,7 ± 8235,8 |
| <b>p-hodnota</b>  | 0,032          | 0,975         | 0,581             | 0,388           | 0,977         | 0,053            |

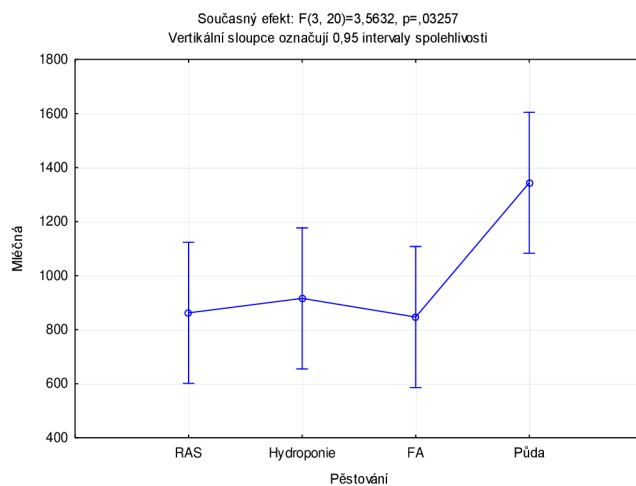
Z tabulky číslo 6 lze vidět rozdíly v zastoupení jednotlivých aniontů organických kyselin. Při porovnání výsledků byly stanoveny p-hodnoty, které v případě aniontů kyselin **octové** v RAS 467,5 ± 327,8 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 455,0 ± 173,9 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 402,9 ± 345,5 mg kg<sup>-1</sup> dw a půdě 426,9 ± 335,9 mg kg<sup>-1</sup> dw, **jablečné** v RAS 55696,5 ± 18256,9 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 35573,8 ± 5889,0 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 40101,8 ± 11248,0 mg kg<sup>-1</sup> dw a půdy 40000,0 ± 11884,8 mg kg<sup>-1</sup> dw, **vinné** v RAS 2269,1 ± 557,7 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 2382,2 ± 690,7 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 2101,1 ± 589,9 mg kg<sup>-1</sup> dw a v půdě 3114,5 ± 1753,4 mg kg<sup>-1</sup> dw, **šťavelové** v RAS 559,2 ± 77,2 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 583,4 ± 48,6 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 585,9 ± 193,8 mg kg<sup>-1</sup> dw a půdě 567,4 ± 112,8 mg kg<sup>-1</sup> dw a **citronové** v RAS 14533,6 ± 6017,1 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 17646,6 ± 4909,8 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 21474,4 ± 7520,1 mg kg<sup>-1</sup> dw a půdě 10068,7 ± 8235,8 mg kg<sup>-1</sup> dw neměly statisticky významné rozdíly v rozptylech na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Avšak v případě kyseliny **mléčné**, kdy p-hodnota = 0,032 <  $\alpha = 0,05$ , došlo ke statisticky významnému rozdílu v rozptylech. S 95% pravděpodobností byl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu aniontů kyseliny mléčné mezi pěstováním v RAS 862,4 ± 298,5 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 915,8 ± 263,0 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 846,8 ± 368,5 mg kg<sup>-1</sup> dw a u kontrolního vzorku pěstování v půdě 1343,8 ± 286,3 mg kg<sup>-1</sup> dw.

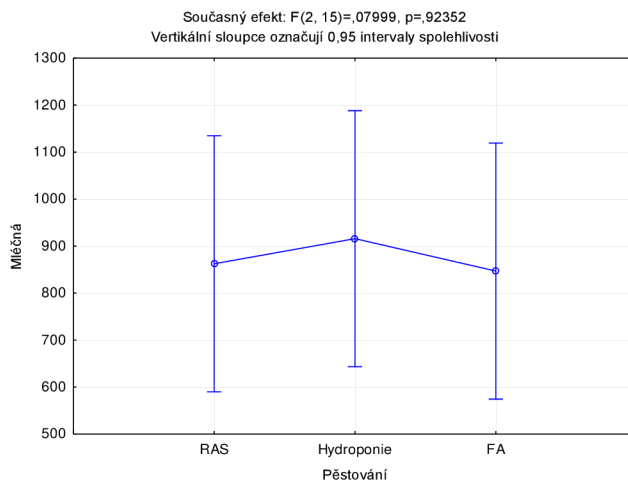
Dle provedeného Scheffeho testu byly statisticky významné rozdíly v rozptylu zaznamenány mezi porovnáním FA a půdou. Kdy nejvíce aniontů nízkomolekulární organické kyseliny mléčné bylo naměřeno v půdě 1343,8 ± 286,3 mg kg<sup>-1</sup> dw a naopak nejméně bylo



naměřeno v FA  $846,8 \pm 368,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Na obrázku 20 je znázorněn graf porovnání obsahu kyseliny mléčné pomocí ANOVY, kdy je přítomen kontrolní vzorek pěstování v půdě. Na obrázku 21 je znázorněn graf obsahu kyseliny mléčné, kde je již smazán kontrolní vzorek půdy a p-hodnota =  $0,923 > \alpha = 0,05$  a mezi vzorky neexistuje statisticky významný rozdíl v rozptylech.



Obrázek 20: Vliv typu pěstování na obsah kyseliny mléčné (výstup ANOVA). Mezi vzorky salátů pěstovaných v RAS, hydroponii, FA a půdou existuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , jelikož p-hodnota =  $0,032 < \alpha$ .



Obrázek 21: Vliv typu pěstování na obsah kyseliny mléčné (výstup ANOVA). Mezi vzorky salátů pěstovaných v RAS, hydroponii a FA, kdy byly odebrány kontrolní hodnoty pěstování v půdě. Neexistuje statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , neboť p-hodnota =  $0,923 > \alpha$ .

Tabulka 7: Analyzované hodnoty anorganických aniontů vzorků salátů z Berlína pro vyhodnocení analýzy rozptylu ( průměr a směrodatná odchylka od průměru v mg kg<sup>-1</sup> dw, 6 opakování pro každou variantu).

| Pěstování         | Chloridy         | Dusitany   | Dusičnany         | Sírany         | Fosforečnany     |
|-------------------|------------------|------------|-------------------|----------------|------------------|
| <b>RAS</b>        | 11743,8 ± 1736,3 | 1,65 ± 1,3 | 26592,3 ± 26975,7 | 1197,4 ± 334,7 | 6586,2 ± 3210,8  |
| <b>Hydroponie</b> | 16148,4 ± 2776,1 | 9,5 ± 4,3  | 53182,0 ± 21102,1 | 1979,8 ± 951,9 | 13606,3 ± 1533,6 |
| <b>FA</b>         | 14290,8 ± 3450,8 | 7,9 ± 4,4  | 48684,9 ± 12183,9 | 2139,6 ± 713,3 | 11977,5 ± 1971,7 |
| <b>Půda</b>       | 27176,1 ± 6500,3 | 9,5 ± 9,9  | 22133,8 ± 5535,0  | 2152,5 ± 527,6 | 8443,1 ± 824,9   |
| <b>p-hodnota</b>  | 0,0001           | 0,919      | 0,00001           | 0,084          | 0,00003          |

Z tabulky číslo 7 lze vyčíst rozdíly v zastoupení jednotlivých anorganických aniontů pro porovnání výsledků RAS, hydroponie, FA a půdy.

V případě **dusitanů** v RAS 1,65 ± 1,3 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 9,5 ± 4,3 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 7,9 ± 4,4 mg kg<sup>-1</sup> dw a v půdě 9,5 ± 9,9 mg kg<sup>-1</sup> dw nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly, neboť p-hodnota = 0,919 a je větší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Stejně tak tomu je v případě **síranů** v RAS 1197,4 ± 334,7 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 1979,8 ± 951,9 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 2139,6 ± 713,3 mg kg<sup>-1</sup> dw a v půdě 2152,5 ± 527,6 mg kg<sup>-1</sup> dw, kdy p-hodnota = 0,08414 je také větší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ .

U zbylých aniontů – **chloridů** v RAS 11743,8 ± 1736,3 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 16148,4 ± 2776,1 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 14290,8 ± 3450,8 mg kg<sup>-1</sup> dw, v půdě 27176,1 ± 6500,3 mg kg<sup>-1</sup> dw, **dusičnanů** v RAS 26592,3 ± 26975,7 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 53182,0 ± 21102,1 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 48684,9 ± 12183,9 mg kg<sup>-1</sup> dw a v půdě 22133,8 ± 5535,0 mg kg<sup>-1</sup> dw a **fosforečnanů** v RAS 6586,2 ± 3210,8 mg kg<sup>-1</sup> dw, hydroponii 13606,3 ± 1533,6 mg kg<sup>-1</sup> dw, FA 11977,5 ± 1971,7 mg kg<sup>-1</sup> dw a v půdě 8443,1 ± 824,9 mg kg<sup>-1</sup> dw byl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a jelikož p-hodnoty byly nižší než hodnota.

Hodnoty mají i velmi vysoké směrodatné odchylky. To je zapříčiněno rozdílným hodnotám v kontrolním vzorku půdy. U všech zmíněných aniontů byl proveden Scheffeho test a následně ze vzorků vyloučen kontrolní vzorek pěstování v půdě.

## 6 Diskuze

Práce si klade za cíl porovnat nutriční a chemické vlastnosti salátu setého – lociky seté (*Lactuca sativa*) pěstovaného v akvaponii a hydroponii. Důraz byl kladen na analýzu aniontů organických kyselin a anorganických aniontů. Hlavní hypotézou práce je: Existují statisticky významné rozdíly v nutriční kvalitě salátu setého pěstovaného v akvaponii a v hydroponii ovlivněné chybějícími živinami (např. dusičnany, tabulka 5) akvaponické vody. Statisticky větší rozdíly jsou v případě pěstování formou akvaponie, jelikož živný roztok neobsahuje takové množství živin jako v případě pěstování formou hydroponie.

Na základě zpracovaných dat je nutné posoudit, zda druh výživy a typ pěstování ovlivňuje chemické a nutriční složení lociky seté (*Lactuca sativa* L.). Bohužel zatím neexistuje žádná dostupná literatura, která by porovnávala srovnání kultivace v aeroponickém systému za použití hydroponického a akvaponického živinového roztoku a dále RAS a FA (Eck et al. 2019).

Maboko et. al (2011) uvedl, že rostliny v bezpůdním systému se vyvíjely rychleji s vyšším celkovým výnosem ve srovnání s kultivací v půdě. Průměrný tržní výnos při bezpůdní kultivaci byl 92,1 procenta, zatímco při pěstování v půdě pouze 77,0 procenta. Výsledky naznačují, že kultivace bez půdy může zlepšit výnos a kvalitu, přičemž výběr kultivaru hraje důležitou roli při využití tohoto produkčního systému. Obecně platí, že bezpůdní plodiny jsou výhodnější než běžné plodiny tam, kde je potřeba operovat v náročných pseudoklimatických podmínkách nebo v přítomnosti velmi cenných druhů, které se obtížně pěstují, nebo ve fázi množení a rozmnožování (Khan et al. 2021).

Je přínosné prozkoumat vliv různých režimů hnojení na snadno použitelný bezpůdní systém poskytující náležitou podporu pro zvýšení nutriční kvality lociky seté (*Lactuca sativa* L.). Panuje shoda, že poskytování živin na dostatečné úrovni má významný dopad na výnos plodin. V důsledku toho může snížení minerálních látek ovlivnit metabolické procesy rostlin a následně vést ke snížení kvality plodin. Doplnění plodin minerály a vitamíny je jednou z neúčinnějších strategií ke zlepšení zdraví rostlin a lidí (Abdalla et al. 2021).

Při komerčním pěstování v bezpůdních systémech je častější najít chronické nedostatky, které jsou důsledkem nedostatečné nabídky živin ve srovnání s poptávkou rostliny. U chronických nedostatků nejsou senzorické zrakové příznaky tak jasné, takže k diagnostice nedostatků živin je třeba použít jiné metody. Tyto metody jsou založeny na klíčových rolích, které živiny hrají v metabolismu rostlin, protože limitující hladiny živiny ovlivňují metabolickou roli, na které se podílejí. Změna pH v živných roztocích souvisí především

s příjmem kationtových a aniontových druhů a zejména k příjmu dusičnanů (Gorbe & Calatayud 2010).

Dle analýzy Ahmed et al. (2021) elementární složení listů salátu, které ukazuje, že rostliny pěstované v organickém roztoku v hydroponii měly výrazně vyšší hladiny N a nižší K ve srovnání s rostlinami pěstovanými v půdě. To lze přičíst omezené dostupnosti draslíku z organického živného roztoku. K výsledkům obsahu dusičnanů podobným těch v naší práci dospěl i El-Nakhel et al. (2020), který uvádí obsah dusičnanů u hydroponie až  $46000 \pm 240 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Tuto skutečnost lze říci i z výsledků této práce, že vyšší množství N ( $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ ) byly v případě hydroponie v porovnání s ostatními typy pěstování.

V případě  $\text{NO}_3^-$  stanovovaného ve vzorcích z Berlína je velmi podobné složení v hydroponii ( $53182 \pm 21102 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ) a ve fertilized akvaponii ( $48684,9 \pm 12183,9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ). V případě vzorků z ČZU je hodnota  $\text{NO}_3^-$  u hydroponie  $9568,6 \pm 320,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a ve vzorcích akvaponie to je pouze  $47,4 \pm 470,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Tato malá hodnota zapříčinila malý vzrůst salátů během růstu a dále to mohlo vést ke žloutnutí až nekróze listů. To vysvětluje i skutečnost, že byl dle rozboru živného roztoku obsah  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  velice nízký. Studie Nozzi et al. (2018), kdy byly srovnány způsoby pěstování v akvaponii a hydroponii, došla ke stejným závěrům, že v případě hydroponie je vyšší obsah  $\text{NO}_3^-$  v porovnání s jinými typy pěstování.

Yoshida et al. (2014), také zjistili pozitivní korelaci mezi hladinami K v živném roztoku a obsahem  $\text{NO}_3^-$  v listech salátu. Stejný trend byl pozorován u salátu, kde zvýšené koncentrace K v živném roztoku pozitivně korelovaly s obsahem  $\text{NO}_3^-$  (Fallico et al. 2009). Je dobře potvrzeno, že K hraje hlavní roli při příjmu  $\text{NO}_3^-$  prostřednictvím dekarboxylace malátu draselného a poskytuje adekvátní hydrogenuhličitanové ionty, které se během příjmu vymění za dusičnany (Coskun et al. 2017). Vezmeme-li v úvahu vysokou roční spotřebu hlávkového salátu na hlavu v několika zemích EU a také ve světě, je příspěvek této důležité listové zeleniny k příjmu minerálních látek člověkem velmi důležitý avšak vysoké koncentrace  $\text{NO}_3^-$  v jedlých částech rostlin představují potenciální hrozbu pro lidské zdraví, proto mnoho zemí legislativně stanovilo maximální přípustné hodnoty (Van der Boonet et al. 2015).

Organické hnojivo ve studii Ahmed et al. (2021) kromě zmíněného obsahů hladin N poskytovalo nejvyšší obsah P ( $6822 \text{ mg/kg dw}$  suchého salátu). V této práci byly srovnávány  $\text{PO}_4^{3-}$  u vzorků z ČZU a tam byly průměrné hodnoty u hydroponie  $8202,01 \pm 351,01 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a v případě akvaponie  $4504,9 \pm 357,4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Nadměrné hladiny  $\text{PO}_4^{3-}$  u lidí v krevním séru mohou způsobit zdravotní potíže a komplikace i u zdravých jedinců, jako je například poškození ledvin a kardiovaskulární onemocnění (Abdalla et al. 2021). Vyšších

akumulovaných hodnot  $\text{PO}_4^{3-}$  v sušině salátu v hydroponii bylo též zaznamenáno i ve studii Yang & Kim (2020).

Bittsánszky et al. (2016) ve své studii jasně poukazuje na fakt, že výživa rostlin pěstovaných v akvaponii nedosahuje z daleka takových hodnot, jako výživa v systémech hydroponických. Také musíme mít na paměti, že dokonalá formulace nutričních požadavků pro konkrétní plodinu neexistuje. Požadavky na výživu se liší podle odrůdy, fáze životního cyklu, délky dne a povětrnostních podmínek.

Yang & Kim (2020) uvádějí, že bohužel většina studií akvaponických živin v rostlinách používala různé typy vody obsahující různě vysoké hladiny minerálních látek, což ztěžuje správné posouzení nedostatkových živin v akvaponických systémech. Dále bylo zjištěno, že výsledky růstu plodin a výnosu v akvaponických systémech jsou nekonzistentní mezi akvaponickými studiemi v rozsahu od nižších po vyšší než v hydroponii. I když výsledky může ovlivnit mnoho různých faktorů, za některé z faktorů ovlivňujících takové variace lze také považovat použití různých vodních zdrojů a výsledných nutričních profilů, stejně jako různé druhy plodin.

Goddek & Vermeulen (2018) ve své studii testovali hypotézu, že se ukázal lepší růstový výkon v recirkulačním akvakulturním systému (RAS). Výsledky jejich studie ukazují, že růst salátu v RAS je lepší než v hydroponii jen za chemicky neoptimálních podmínek (tj. s vysokým obsahem chloridových aniontů). Avšak v této práci bylo zjištěno, že obsahy chloridových aniontů jsou v případě porovnání vzorků salátu z Berlína lepší u hydroponie ( $16148 \pm 2776,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ) než u RAS ( $11743 \pm 1736,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ). Nejvíce chloridových aniontů bylo zaznamenáno během pěstování v půdě ( $27176 \pm 6500,3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ) díky přirozenému výskytu chloridů v půdě. Avšak také dle Yang & Kim (2020) plodiny pěstované v akvaponii akumulovaly v rostlinných tkáních vyšší hladiny  $\text{Cl}^-$  v porovnání s hydroponií. Tato skutečnost v odchylce od více tvrzení může být zapříčiněna například chybnou koncentrací a výživou živinového roztoku.

Údaje o koncentracích síranů přispívají k pochopení příjmu makrokationtů rostlinami a mohou být podnětem pro budoucí relevantní výzkum. Síranů je dle odborné literatury v průměru  $1900 \pm 100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a v našem měření se této hodnotě přiblížily všechny vzorky. Organické kyseliny jsou indikátory tolerance rostlin vůči stresu, včetně nedostatku živin a variabilita jejich koncentrací poskytuje pohled na fyziologii stresu rostlin (El-Nakhel et al. 2020).

Organické kyseliny zkoumal ve své práci El-Nakhel et al. (2020), avšak pouze v systému hydroponie. Dle jeho výsledků můžeme porovnat například kyselinu jablečnou, která v rámci jejich výsledků byla  $41900 \pm 2350 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Naše výsledky jsou velmi podobné a to v rámci všech typů pěstování. Největší množství kyseliny jablečné je u vzorků z Berlína, konkrétně u varianty RAS, která měla až  $55696,5 \pm 18256,9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Nejmenší množství naopak bylo zaznamenáno opět u vzorku z Berlína a to u hydroponie, kde bylo zjištěno  $35573,8 \pm 5889,0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ .

Dále dle práce El-Nakhel et al. (2020) můžeme porovnat například kyselinu citronovou, která byla ve vzorcích z ČZU méně zastoupena v porovnání jak s El-Nakhel et al. (2020), tak i se vzorky z Berlína. El-Nakhel et al. (2020) uvádí hodnotu  $12600 \pm 200 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ . Vzorky z ČZU obsahovaly  $4574,6 \pm 1608,9 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$  a vzorky z Berlína však měly v hydroponii  $17646,6 \pm 4909,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ , ale v případě FA měly dokonce  $21474,4 \pm 7520,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dw}$ .

Dle studie Ciriello et al. (2021) je obsah kyseliny vinné pěstované v hydroponii  $2,8 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1} \text{ dw}$ . Ve vzorcích z ČZU je kyseliny vinné dokonce více. Bylo naměřeno  $4,3 \pm 0,4 \text{ g kg}^{-1} \text{ dw}$ .

Téma porovnání organických kyselin a anorganických aniontů v rámci různých bezpůdních typů pěstování je stále nové a zatím odborná literatura nemá dostatek pramenů k čerpání. Zatím není v takové míře prozkoumán především vliv akvaponie na nutriční složení pěstovaných plodin a dále vliv na spotřebu či výživu člověka. Dá se očekávat, že v nejbližší době se této problematice začne více odborná společnost věnovat.

Bezpůdní systémy vyžadují mnoho vědeckých a technických znalostí, proces pěstování je však ve skutečnosti velmi jednoduchý. Navíc vyšší výnosy a méně intenzivní práce mohou učinit bezpůdní systémy velmi prodejnými (Khan et al. 2021).

## 7 Závěr

Tato práce měla za cíl porovnat nutriční a chemické vlastnosti salátu setého – lociky seté (*Lactuca sativa*) pěstovaného v akvaponii a hydroponii a tohoto cíle bylo dosaženo a stanovené hypotézy se potvrdily. Byly zjištěny statisticky významné rozdíly v pěstování salátu v hydroponickém a akvaponickém systému.

V případě vzorků z ČZU rozdíly, kdy více organických kyselin a anorganických iontů bylo v případě hydroponie, byly především v množství kyseliny mléčné, octové a jablečné dále bylo ve vzorcích více dusičnanů a fosforečnanů.

Při zpracování vzorků z Berlína bylo více variant pěstování, práce se však nejvíce zabývala taktéž rozdílem mezi hydroponickým a akvaponickým systémem. Opět v případě hydroponie bylo stanoveno více kyseliny mléčné, vinné, šťavelové a citronové. Dále v anorganických aniontů v hydroponickém pěstování bylo více chloridů, dusitanů, dusičnanů, síranů a i fosforečnanů.

Výsledky mezi vzorky z ČZU a z Berlína jsou různé. Nejednalo se vždy o stejný druh pěstování, jednalo se o rozdílnou sadbu salátů, jiné podmínky pro růst, odlišné živné roztoky. Proto výsledky nelze zcela porovnat mezi sebou. Odborná literatura, která by porovnávala nutriční vlastnosti salátu pěstované v hydroponii a akvaponii, není v současné době příliš obsáhlá a tato problematika bude jistě předmětem dalšího výzkumu.

## 8 Literatura

Abdalla MA, Li F, Wenzel-Storjohann A, Sulieman S, Tasdemir D, Mühling KH. 2021. Comparative Metabolite Profile, Biological Activity and Overall Quality of Three Lettuce (*Lactuca sativa* L., *Asteraceae*) Cultivars in Response to Sulfur Nutrition. *Pharmaceutics* **13**(5):713.

Ahmed ZFR, Alnuaimi AKH, Askri A, Tzortzakis N. 2021. Evaluation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Production under Hydroponic System: Nutrient Solution Derived from Fish Waste vs. Inorganic Nutrient Solution. *Horticulturae* **7**(9): 292.

Anderson T, De Villiers D, Timmons M. 2017. Growth and Tissue Elemental Composition Response of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to Hydroponic and Aquaponic Conditions. *Horticulturae* **3**(3): 43.

Bittsánszky A, Uzinger N, Gyulai G, Mathis A, Junge R, Villarroel M, Kotzen B, Komíves T. 2016. Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles* **2**(2): 17-20.

Caparrotta S, Masi E, Atrozi G, Diamanti I, Azzarello E, Mancuso S, Pandolfi C. 2019. Growing spinach (*Spinacia oleracea*) with different seawater concentrations: Effects on fresh, boiled and steamed leaves. *Scientia Horticulturae* **256**:108540.

Carmassi G, Incrocci L, Maggini R, Malorgio F, Tognoni F, Pardossi A. 2005. Modeling Salinity Build-Up in Recirculating Nutrient Solution Culture. *Journal of Plant Nutrition* **28**(3): 431-445.

Ciriello M, Formisano L, Antonio Pannico A. 2021. Nutrient Solution Deprivation as a Tool to Improve Hydroponics Sustainability: Yield, Physiological, and Qualitative Response of Lettuce. *Agronomy* **11**(8):1469.

Coskun D, Britto DT, Kronzucker HJ. 2017. The nitrogen-potassium intersection: membranes, metabolism, and mechanism. *Plant, Cell & Environment* **40**(10): 2029-2041.



Delaide B, Goddek S, Gott J, Soyeurt H, Jijakli M. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucre) Growth Performance in Complemented Aquaponic Solution Outperforms Hydroponics. *Water* **8**(10):467.

Demsar J, Hoze O, Vodnik D. 2004. The effect of light – dependent application of Nitrate on the growth of aeroponically grown Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science* **129**(4): 570-575.

Di Lorenzo R, Pisciotta A, Santamaria P, Scariot V. 2013. From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. *Italian Journal of Agronomy* **8**(4): 255-260.

Diver S. 2006. Aquaponic-integration hydroponic with aquaculture. National Centre of Appropriate Technology. Department of Agriculture's Rural Business Cooperative Service. P. Water: 1–28.

Diver S, Rinehart L. 2010. Aquaponics — Integration of hydroponics and aquaculture Appropriate technology transfer for rural areas: Horticulture systems guide. Available from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.174.541&rep=rep1&type=pdf> (accessed April 2022).

Dresbøll DB. 2010. Effect of growing media composition, compaction and periods of anoxia on the quality and keeping quality of potted roses (*Rosa* sp.). *Scientia Horticulturae* **126**(1): 56-63.

Eck M, Körner O, Jijakli MH. 2019. Nutrient cycling in aquaponics systems. Pages 231-246 in Goddek S, Joyce A, Kotzen B, and Burnell GM, editors. *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer International Publishing, Cham.

EI-kazzaz AA. 2017. Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal* **3**(2): 555610.

El-nakhel Ch, Pannico A, Kyriacou MC, et al. 2020. Dataset on the organic acids, sulphate, total nitrogen and total chlorophyll contents of two lettuce cultivars grown hydroponically using nutrient solutions of variable macrocation ratios. *Data in Brief* **29**: 105135.

El-nakhel Ch, Petropoulos SA, Pannico A, et al. 2020. The bioactive profile of lettuce produced in a closed soilless system as configured by combinatorial effects of genotype and macrocation supply composition. *Food Chemistry* **309**: 125713.

Espinosa-Moya A, Alvarez-Gonzalez Albertos-Alpuche P, Guzman-Mendoza R, Martínez-Yanez R. 2018. Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems. *Acta Universitaria* **28**(2): 1-8.

Fallico C, Rouphael Y, Rea E, Battistelli A, Colla G. 2009. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. acephala in floating raft culture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **89**(10): 1682-1689.

FAO. 2020. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. Available from <https://doi.org/10.4060/cb1447en> (accessed January 2022).

FAOSTAT. 2019. Food and agriculture data 2019. *Food and Agriculture Organization*. Available from <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf> (accessed January 2022).

Gashgari R, Alharbi K, Mughribil K, Jan A, Glolam A. 2018. Comparison between Growing Plants in Hydroponic System and Soil Based System. *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*. **131**.

Gizas G, Tsirogiannis I, Bakea M, Mantzos N, Savvas D. 2012. Impact of Hydraulic Characteristics of Raw or Composted Posidonia Residues, Coir, and Their Mixtures with Pumice on Root Aeration, Water Availability, and Yield in a Lettuce Crop. *HortScience* **47**(7): 896-901.

Goddek S, Vermeulen T. 2018. Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. *Aquaculture International* **26**:1377–1386.

- Gold MV. 1999. Sustainable Agriculture: Definitions and Terms. National Agricultural Library, University of Minnesota.
- Greenfeld A, Becker N, Bornman JF, Spatari S, Angel DL. 2022. Is aquaponics good for the environment?—evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International* **30**(1): 305-322.
- Gonnella M, Renna M. 2021. The Evolution of Soilless Systems towards Ecological Sustainability in the Perspective of a Circular Economy. Is It Really the Opposite of Organic Agriculture?. *Agronomy* **11**(5): 950.
- Gopinath P, Vethamoni PI, Gomathi M. 2017. Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. *Chemical Science Review and Letters* 2017 **6**(22): 838-849.
- Gorbe E, Calatayud A. 2010. Optimization of Nutrition in Soilless Systems: A Review. *Advances in Botanical Research* **53**:193-245.
- Grillas S, Lucas M, Bardopoulou E, Sarafopoulos S, Voulgari M. 2001. Perlite based soilless systems: Current commercial applications and prospects. *Acta Horticulturae* **548**: 105-114.
- Gruda N, Schnitzler W.H. 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. *Scientia Horticulturae* **100**(1-4): 309-322.
- Gruda, N, Qaryouti, MM, Leonardi C. (2013). Growing media. In *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops – Principles for Mediterranean Climate Areas* (Rome, Italy: FAO), Plant Production and Protection Paper **217**: 271–302.
- Gruda, N, Caron J, Prasad M, Maher MJ. 2016. Growing media. In *Encyclopedia of Soil Sciences*, 3<sup>rd</sup> edn., R. Lal., ed. (CRC Press, Taylor & Francis Group) 1053–1058.
- Gruda N. 2019. Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy* **9**(6): 298.

Grunert O, Hernandez-Sanabria E, Vilchez-Vargas R, et al. 2016. Mineral and organic growing media have distinct community structure, stability and functionality in soilless culture systems. *Scientific Reports* **6**(1): 18837.

Gullino ML, Gilardi G, Garibaldi A. 2019. Ready-to-Eat Salad Crops: A Plant Pathogen's Heaven. *Plant Disease* **103**(9): 2153-2170.

Hayden AL, Brigham LA, Giacomelli GA. 2004. Aeroponic cultivation of ginger (*Zingiber officinale*) rhizomes. *Acta Horticulturae* **659**: 397-402.

He J, Lee SK. 1998. Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different root zone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **73**(2): 173-180.

Heller H, Bar-Tal A, Assouline S, et al. 2015. The effects of container geometry on water and heat regimes in soilless culture: lettuce as a case study. *Irrigation Science* **33**(1): 53-65.

Hickman GW. 2017. International Greenhouse Vegetable Production. Statistics Cuesta Roble Consulting, Mariposa, CA.

Holmes S. 2017. Improving lettuce production in deep water culture in the South- eastern United States. Auburn University, Alabama, AL.

Hossain MZ, Bahar MM, Sarkar B, et al. 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar* **2**(4): 379-420.

Hussey G, Stacey NJ. 1981. In Vitro Propagation of Potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Annals of Botany*, vol. 48, no. 6, Oxford University Press 787-96.

Hydroponic Urban Gardening Blog. Various hydroponics systems. Available from <https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/> (accessed January 2022).

- Jones JR. 2014. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. CRC Press. Boca Raton.
- Kamies R, Rafudeen M, Rafudeen B, Farrant J. (2010). The use of aeroponics to investigate antioxidant activity in the roots of the resurrection plant, *Xerophyta viscosa*. *Plant Growth Regulation* **62**: 203-211.
- Kennard N, Stirling R, Prashar A, Lopez-Capel E. 2020. Evaluation of Recycled Materials as Hydroponic Growing Media. *Agronomy* **10**(8): 1092.
- Khan S, Purohit A, Vadsaria N. 2021. Hydroponics: current and future state of the art in farming. *Journal of Plant Nutrition* **44**(10): 1515-1538.
- Kim MJ, Moon Y, Tou JC, Mou B, Waterland NL. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* **49**: 19-34.
- Knaus U, Palm HW. 2017. Effects of fish biology on ebb and flow aquaponical cultured herbs in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture* **466**: 51– 63.
- Kochian LV. 2000. Molecular physiology of mineral nutrient acquisition, transport, and utilization. In Buchanan B, Gruissem W, Jones R, editors. *Biochemistry and molecular biology of plants*. Am Soci of Plant Physi, Rockville, MD 1204–1249.
- Konig B, Junge R, Bittsanszky A, Villarroel M, Komives T. 2016. On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles* **2**: 26–32.
- Lakhiar IA, Gao J, Syed TN, Chandio FA, Buttar NA. 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions* **13**(1): 338-352.
- Lenzi A, Baldi A, Tesi R. 2013. Growing spinach in a floating system with different volumes of aerated or non-aerated nutrient solution. *Advances in Horticultural Science* **25**(1): 21-25.

Maboko MM, Du Plooy CP. 2013. Effect of plant spacing on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a soilless production system. South African Journal of Plant and Soil **26**(3): 195-198.

Maboko MM, Du Plooy CP, Bertling I. 2011. Comparative performance of tomato cultivars cultivated in two hydroponic production systems. South African Journal of Plant and Soil **28**(2): 97-102.

Maher MJ, Thomson D. 1991. Growth and manganese content of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings grown in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) bark substrate. Scientia Horticulturae **48**(3-4): 223-231.

Marschner H. 2011 Mineral nutrition of higher plants, Academic Press, San Diego, CA.

Massa D, Magán JJ, Montesano FF, Tzortzakis N. 2020. Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. Agricultural Water Management **241**: 1- 20.

Maya Waiba K, Sharma P, Sharma A, Chadha S, Kaur M, Author C. 2020. Soilless vegetable cultivation: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry **9**:631–636.

Morel P, Guillemain G. 2004. Assessment of the possible phytotoxicity of a substrate using an easy and representative biotest. Acta Horticulturae **644**: 417-423.

Muhibuddin A, Razak Z, Salam S, Boling J. 2018. Nutrients Formulation for Improving Production and Quality of Potato Minitubers Using Aeroponic System in Indonesia. Advances in Environmental Biology **12**(12): 38.

NASA Originating Technology. 2006. Progressive plant growing has business blooming. NASA Spinoff **2006**: 64–67.

Nozzi V, Graber A, Schmautz Z, Mathis A, Junge R. 2018. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. Agronomy **8**(3): 27.

- Olympios M. 2002. Overview of soilless culture: Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries **31**:307 – 324.
- Orsini F, Kahane R, Nono-Womdim R, Gianquinto G. 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **33**(4): 695-720.
- Putra PA, Yuliando H. 2015. Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **3**: 283-288.
- Ranawade PS, Tidke SD, Kate AK. 2017. Comparative Cultivation and Biochemical Analysis of *Spinacia oleraceae* Grown in Aquaponics, Hydroponics and Field. **6**(4): 1007-1013.
- Raviv M, Lieth H, Bar-Tal A, Silber A. 2008. Growing Plants in Soilless Culture: Operational Conclusions. In *Soilless Culture: Theory and Practice*; Raviv, M., Lieth, H., Eds.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands 545–571.
- Raviv M. 2013. Composts in growing media: What's new and what's next?. *Acta Horticulturae* **982**: 39-52.
- Resh HM. 2013. Good agricultural practises for greenhouse vegetable crops. Pages 303–355 *Soilless culture*. National Center for Agricultural Research and Extension. Jordan.
- Resh HM. 2016. *Hydroponic Food Production*. CRC Press. Boca Raton.
- Richa A, Touil S, Fizir M, Martinez V. 2020. Recent advances and perspectives in the treatment of hydroponic wastewater: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **19**(4): 945-966.
- Roberto K. 2003. *How to hydroponics*. 4th ed. New York: The future garden press. New York.
- Rolot JL, Seutin H, Michelante D. 2002. Production de minitubercules de pomme de terre par hydroponie: évaluation d'un système combinant les techniques NFT et Gravel Culture pour deux types de solutions nutritives. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* **6**: 155-161.

Rouphael Y, Colla G, Battistelli A, Moscatello S, Proietti S, Rea E. 2015. Yield, water requirement, nutrient uptake and fruit quality of zucchini squash grown in soil and closed soilless culture. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **79**(3): 423-430.

Rykaczewska K. 2016. The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. *Plant, Soil and Environment* **62**(5): 210-214.

Savvas D, Gianquinto G, Tuzel Y, Gruda N. 2013. Good agricultural practises for greenhouse vegetable crops. Pages 303–355 *Soilless culture*. National Center for Agricultural Research and Extension. Jordan.

Savvas D, Gruda N. 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. *European Journal of Horticultural Science* **83**(5): 280-293.

Sharma N, Acharya S, Kumar K, Singh N, Chaurasia OP. 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation* **17**(4): 364 – 371.

Schmilewski G. 2009. Growing medium constituents used in the EU. *Acta Horticulturae* **819**:33-46.

Singh S, Singh BS. 2012. Hydroponics – a technique for cultivation of vegetables and medicinal plants. In: *Proceedings of 4th global conference on horticulture for food, nutrition and livelihood options*, Bhubaneswar, Odisha, India.

Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A. 2014. Small – scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO.

Touliatos D, Dodd DI, McAinsh M. 2016. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and Energy Security* **5**(3):184-191.



Tyson R, Treadwell DD, Simonne EH, 2011. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. *HortTechnology* **21**(1): 6-13.

Tyson R, Simonne EH, Treadwell DD, Davis M, White JM. 2008. Effect of Water pH on Yield and Nutritional Status of Greenhouse Cucumber Grown in Recirculating Hydroponics. *Journal of Plant Nutrition* **31**(11): 2018-2030.

United Nations. 2017. *World Population Prospects. The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables*. New York.

Van Der Boon J, Steenhuizen JW, Steingrover EG. 2015. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *Journal of Horticultural Science* **65**(3): 309-321.

Willer H, Travnicek J, Schlatter B. 2020. Current status of organic oilseeds worldwide – Statistical update☆. *OCL* **27**: 62.

Yang T, Kim H. 2020. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. *Water* **12**(5): 1259.

Yoshida T, Sakuma K, Kumagai H. 2014. Nutritional and taste characteristics of low-potassium lettuce developed for patients with chronic kidney diseases. *Hong Kong Journal of Nephrology* **16**(2): 42-45.

Zekki H, Gauthier L, Gosselin A. 1996. Growth, Productivity, and Mineral Composition of Hydroponically Cultivated Greenhouse Tomatoes, with or without Nutrient Solution Recycling. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **121**(6): 1082-1088.



## 9 Samostatné přílohy

Příloha 1- tabulka detekčních limitů pro výpočet retenčních časů z iontové chromatografie pro jednotlivé anionty organických kyselin a anorganických aniontů.

| Lactate      | Acetate | Cl -  | NO2 - | NO3 - | Malate | Tartrate | SO4 2- | Oxalate | PO4 3- | Citrate |
|--------------|---------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|---------|--------|---------|
| <b>0,002</b> | 0,002   | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,005  | 0,798    | 0,003  | 0,003   | 0,012  | 0,011   |
| <b>0,001</b> | 0,001   | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,003  | 0,399    | 0,002  | 0,002   | 0,006  | 0,005   |

Příloha 1 – tabulka průměrných hodnot aniontů nízkomolekulárních organických kyselin a aniontů pro vzorky z ČZU, vzorky z Berlína a pro dva blank vzorky. (1P až 6P), které byly pěstované v hydroponii (1P až 3P) a akvaponii (4P až 6P), dále jsou v tabulce hodnoty pro vzorky z Berlína (1B až 24B), kdy vzorky RAS byly pěstovány v akvaponii (1B až 6B), v hydroponii (7B až 12B), ve fertilized akvaponii FA (13B až 18B) a kontrolně v půdě (19B až 24B) a hodnoty dvou blank vzorků. Jednotlivé hodnoty jsou v jednotkách suchého salátu ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ dw}$ ).

| Vzorek | Pěstování  | Lactate | Acetate | Cl-   | NO2- | NO3-  | Malate | Tartrate | SO42- | Oxalate | PO43- | Citrate |
|--------|------------|---------|---------|-------|------|-------|--------|----------|-------|---------|-------|---------|
| 1P     | Hydroponie | 501     | 358     | 2616  | 1    | 13712 | 48923  | 4127     | 925   | 140     | 12789 | 6501    |
| 2P     | Hydroponie | 338     | 244     | 1525  | 1    | 10017 | 39826  | 4778     | 671   | 114     | 8671  | 3403    |
| 3P     | Hydroponie | 292     | 322     | 1290  | 1    | 7273  | 38378  | 4102     | 832   | 182     | 5676  | 4197    |
| 4P     | Akvaponie  | 232     | 241     | 4740  | 1    | 83    | 34176  | 4985     | 1084  | 169     | 4091  | 7311    |
| 5P     | Akvaponie  | 342     | 270     | 6864  | 1    | 1     | 49981  | 5798     | 1346  | 222     | 4805  | 9053    |
| 6P     | Akvaponie  | 293     | 247     | 6157  | 1    | 1     | 44707  | 5048     | 1122  | 207     | 4479  | 9596    |
| 1B     | RAS        | 1213    | 200     | 11906 | 1    | 43271 | 79235  | 2707     | 1290  | 548     | 11012 | 22073   |
| 2B     | RAS        | 628     | 95      | 10492 | 1    | 24142 | 71562  | 2954     | 1291  | 679     | 9178  | 18307   |
| 3B     | RAS        | 613     | 219     | 12104 | 1    | 29274 | 60741  | 2630     | 859   | 581     | 7897  | 18960   |
| 4B     | RAS        | 1088    | 743     | 12192 | 1    | 18410 | 38952  | 1727     | 812   | 496     | 3295  | 9500    |
| 5B     | RAS        | 542     | 754     | 9324  | 1    | 15116 | 32592  | 1681     | 1206  | 460     | 4036  | 7216    |
| 6B     | RAS        | 1090    | 795     | 14444 | 4    | 29341 | 51097  | 1916     | 1726  | 592     | 4100  | 11146   |
| 7B     | Hydroponie | 579     | 394     | 15615 | 6    | 42236 | 32493  | 2525     | 1373  | 558     | 13497 | 16588   |
| 8B     | Hydroponie | 705     | 355     | 14095 | 7    | 44035 | 26575  | 2321     | 1047  | 583     | 13364 | 17783   |
| 9B     | Hydroponie | 791     | 529     | 13759 | 6    | 31252 | 32716  | 3643     | 1208  | 603     | 11597 | 12740   |